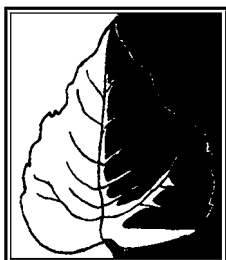


ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



# Проблемы Рациональной Экологии

**REGIONAL  
ENVIRONMENTAL  
ISSUES**

Журнал издается при поддержке  
Института географии Российской академии наук

**№ 6  
2018 г.**

**Главный редактор**

**Ажгиревич А. И.**

Кандидат технических наук, президент Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Союз предприятий и организаций, обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов и защиту окружающей среды «Экосфера»

**Зам. главного редактора**

**Гутенев В. В.** Доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной и Правительственных премий РФ. Первый вице-президент Союза машиностроителей России

**Кочуров Б. И.** Доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН

**Лобковский В. А.** Кандидат географических наук, заведующий отделом физической географии и проблем природопользования Института географии РАН

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

**Абдурахманов Г. М.** Доктор биологических наук, профессор. ФГБОУ ВПО Дагестанский государственный университет, декан

**Бакланов П. Я.** Академик РАН, доктор географических наук, профессор. ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН), директор

**Глазачев С. Н.** Доктор географических наук, профессор. Межвузовский центр по разработке технологий эколого-педагогического образования, директор

**Ивашкина И. В.** Кандидат географических наук. ГУП «НИИПИ Генплана Москвы», зав. сектором

**Иманов Н. М.** Доктор экономических наук, профессор. Институт экономики Национальной академии наук Азербайджана (НАНА), Азербайджан. Директор

**Камнев А. Н.** Доктор биологических наук, профессор. МГУ им. М. В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник

**Касимов Н. С.** Академик РАН, доктор географических наук, профессор. МГУ им. М. В. Ломоносова, президент географического факультета

**Кирюшин В. И.** Академик РАН (РАСХН), доктор биологических наук, профессор. ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», главный научный сотрудник

**Котляков В. М.** Академик РАН, доктор географических наук, профессор. ФГБУН Институт географии Российской академии наук

**Колосов В. А.** Доктор географических наук, профессор. ФГБУН Институт географии Российской академии наук (ИГ РАН), заведующий лабораторией

**Кузнецов О. Л.** Доктор технических наук, профессор. Российская академия естественных наук, президент

**Лосев К. С.** Доктор географических наук, профессор. Всероссийский институт научно-технической информации РАН, заведующий отделом географии и геофизики

**Мазиров М. А.** Доктор биологических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева», зав. кафедрой

**Насименто Юли.** Доктор философии (география городов). Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'île-de-France, Франция. Руководитель исследований

**Рахманин Ю. А.** Академик РАН (РАМН), доктор медицинских наук, профессор НИИ экологии и гигиены окружающей среды им. А. И. Сысина РАМН, директор

**Рогожин К. Л.** Доктор физико-математических наук, профессор. НОЧУ ВПО «Столичная Академия малого бизнеса (институт)», проректор по научной работе

**Столбовой В. С.** Доктор географических наук. ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», зав. лабораторией

**Тикунов В. С.** Доктор географических наук, профессор. МГУ им. М. В. Ломоносова, зав. лабораторией

**Тишков А. А.** Доктор географических наук, профессор. ФГБУН Институт географии Российской академии наук, зам. директора

**Трифонова Т. А.** Доктор биологических наук, профессор. МГУ им. М. В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник

**Фоменко Г. А.** Доктор географических наук, профессор. Научно-исследовательский проектный институт «Кадастр», председатель правления

**Ответственный редактор**

**Н. Е. Караваева**

**Редактор-переводчик**

**М. Е. Покровская**

**EDITOR-IN-CHIEF**

**Azhgirevich Artem I.**

Ph.D. (Engineering), Chairman of the All-Russian branch association of employers ECOSFERA, Russia

**DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF:**

**Gutenev Vladimir V.,** Ph.D. (Engineering), Dr. Habil., Professor, Russia

**Kochurov Boris I.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Russia

**Lobkovsky Vasily A.,** Ph.D. (Geography), Head of the Department of Physical geography and environmental management problems

**EDITORIAL BOARD MEMBERS:**

**Abdurakhmanov Gairbeg M.,** Ph.D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Dagestan State University, Russia

**Baklanov Petr Ja.,** Academician, Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, Pacific Institute of Geography, Russia

**Glazachev Stanislav N.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Centre for Environmental and Teacher Education, Russia

**Ivashkina Irina V.,** Ph.D. (Geography), Institute of Moscow City Master Plan, Russia

**Imanov Nazim M.,** Ph.D. (Economics), Dr. Habil., Professor, Azerbaijan

**Kamnev Alexander N.,** Ph.D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Kasimov Nikolay S.,** Academician, Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Lomonosov Moscow State University, President of the Faculty of Geography, Russia

**Kiryushin Valery I.,** Academician, Ph.D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Russia

**Kotlyakov Vladimir M.,** Academician, Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Russia

**Kolosov Vladimir A.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Russia

**Kuznetsov Oleg L.,** Ph.D. (Engineering), Dr. Habil., Professor, President of the Russian Academy of Natural Sciences, Russia

**Losev Kim S.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, All-Russian Institute for Scientific and Technical Information, Russia

**Mazirov Mikhail A.,** Ph.D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Russian State Agrarian University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy (RSAU — TMAA or RSAU — MAA named after K.A. Timiryazev), Russia

**Nascimento Juli,** Ph.D. (Urban Geography), Institute for Urban and Regional Planning of Ile-de-France, France

**Rakhmanin Jury A.,** Academician, Ph.D. (Medicine), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Medical Sciences, Institute of Ecology and Environmental Hygiene named after A. I. Sysin, Russia

**Rogozhin Konstantin L.,** Ph.D. (Physics and Mathematics), Dr. Habil., “Metropolitan Small Business Academy (Institute)”, Vice-Rector, Russia

**Stolbovoy Vladimir S.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Russian Academy of Agricultural Sciences, V. V. Dokuchayev Soil Institute, Russia

**Tikunov Vladimir S.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Russia

**Tishkov Arkady A.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Russia

**Trifonova Tatiyana A.,** Ph.D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil, Russia

**Fomenko George A.,** Ph.D. (Geography), Dr. Habil., Scientific Research and Design Institute “Cadastr”, Russia

**EXECUTIVE EDITOR**

**Karavaeva Natalia E.**

**EDITOR-TRANSLATOR**

**Pokrovskaya Marina E.**



Решением президиума Высшей аттестационной комиссии журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук

Подписные индексы 84127 и 20490  
в каталоге «Роспечать»

Журнал поступает  
в Государственную Думу  
Федерального собрания,  
Правительство РФ,  
аппарат администраций  
субъектов Федерации,  
ряд управлений  
Министерства обороны РФ  
и в другие государственные  
службы, министерства  
и ведомства.

Статьи рецензируются.  
Перепечатка без разрешения  
редакции запрещена,  
ссылки на журнал  
при цитировании обязательны.

Редакция не несет ответственности  
за достоверность информации,  
содержащейся в рекламных  
объявлениях.

Отпечатано  
в ООО «Авансесд солюшнз»  
119071, г. Москва,  
Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1  
Тел./факс: (495) 770-36-59  
E-mail: [om@aov.ru](mailto:om@aov.ru)

Подписано в печать 30.12.2018 г.  
Формат 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Печать офсетная.  
Бумага офсетная № 1.  
Объем 17,21 п. л.  
Тираж 1150 экз.  
Заказ № RE618

Автор фото на обложке  
Лобковский Я. В.

© ООО Издательский дом «Камертон», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### Раздел 1. Экология

- С. Н. Артемова, Д. С. Иконников, О. Ф. Приказчикова.* Историко-геоэкологические особенности формирования культурных ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в период энеолита . . . . . 6
- В. Ю. Солдатова, А. П. Самсонова.* Влияние экологических условий городской среды на качество семян и морфологические показатели листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* Roth. . . . . 12
- Т. И. Хоменушко, С. Н. Русак, М. И. Куриленко.* Оценка фонового загрязнения донных отложений водных объектов северо-восточной части Таймырского района Красноярского края . . . . . 16
- Н. П. Тарабукина, М. П. Неустроев, М. П. Скрябина, А. М. Степанова, С. И. Парникова, А. А. Былгаева, М. М. Неустроев.* Роль бактерий рода *Vacillus* в сохранении останков мамонтовой фауны в многолетних мерзлых грунтах . . . . . 21
- М. Г. Малева, Н. В. Чукина, Г. Г. Борисова, О. С. Синенко, Г. И. Ширяев.* Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата *Turpha latifolia* L. в условиях техногенного загрязнения . . . . . 24
- Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина, Е. А. Раков.* Формирование фитоценозов на золоотвалах Нижнетуринской ГРЭС . . . . . 27
- А. В. Протопопов, В. В. Протопопова.* Экологические факторы формирования растительного покрова в позднем плейстоцене на территории Якутии . . . . . 30
- Г. Д. Чимитдоржиева, Ц. Д.-Ц. Корсунова, А. З. Нимбуева.* Марганец, кобальт в системе порода — почва — гумусовые вещества — растения Западного Забайкалья . . . . . 33

### Раздел 2. Геоэкология

- Н. Е. Сивцева.* Геохимические исследования антропогенно-преобразованных почв г. Якутска . . . . . 36
- Г. А. Бортникова, Л. А. Межова, А. М. Луговской, М. Ю. Евдокимов, А. Ю. Ткачев, П. В. Рихардт.* Геоэкологическая рекультивация и санация территорий карьеров по добыче строительных материалов . . . . . 40
- Г. С. Розенберг.* Европа и ее самая крупная река: сравнение показателей устойчивого развития . . . . . 46
- А. А. Григорьева, Г. Е. Миронова, Л. Д. Олесова, З. Н. Кривошапкина, Е. И. Семенова, А. В. Ефремова, Л. И. Константинова, А. И. Яковлева, Е. Д. Охлопкова.* Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды в условиях криолитозоны . . . . . 51
- Н. Г. Белова, С. А. Огородов, О. С. Шилова, А. В. Новикова, Д. М. Алексютина.* Мониторинг динамики берегов Западного Ямала в районе перехода газопровода «Бованенково-Ухта» через Байдарацкую губу Карского моря . . . . . 59
- А. С. Холодов, В. А. Дрозд, В. В. Чернышев, К. Ю. Кириченко, В. В. Чайка, К. С. Голохваст.* Первые данные о гранулометрическом составе атмосферной взвеси Анадыря и Певека . . . . . 65

<i>С. Б. Сосорова, В. Л. Убугунов, И. Н. Лаврентьева, Л. Л. Убугунов, Л. Н. Болонева, Ю. А. Рупышев, Э. Г. Цыремпилов.</i> Геоэкологическая оценка рекультивированных территорий деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Республика Бурятия) . . . . .	69
<i>С. В. Киселева, А. А. Тулегенова.</i> Использование методов пространственного анализа для оценки потенциала производства энергии при помощи биогазовых станций . . . . .	73
<i>В. А. Столбов, Ю. О. Белоногова, А. З. Ощепкова.</i> Территориальные схемы обращения с твердыми коммунальными отходами как основа безопасного и устойчивого развития регионов (обзор практики выделения зон деятельности региональных операторов в субъектах Федерации) . . . . .	78
<i>П. И. Собакин.</i> Тяжелые естественные радионуклиды в почвах техногенных ландшафтов Южной Якутии . . . . .	88
<i>Е. А. Минакова, А. П. Шлычков.</i> Выпадения биогенных веществ с атмосферными осадками в бассейне Средней и Нижней Волги . . . . .	92

### **Раздел 3. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов**

<i>А. А. Перк, П. И. Собакин.</i> Древесные растения-азотфиксаторы в условиях радионуклидного загрязнения Южной Якутии . . . . .	98
<i>А. П. Чевычелов.</i> Постпирогенные трансформации мерзлотных почв Северо-Востока России . . . . .	101
<i>А. Г. Ларионов, М. В. Владимирцева.</i> Летнее население птиц в районах промышленного освоения западной части Приленского плато . . . . .	104
<i>П. Я. Константинов, А. Н. Федоров.</i> Многолетняя динамика температуры многолетнемерзлых пород на участках вырубок лиственничной тайги в Центральной Якутии . . . . .	107
<i>С. Н. Балькин, А. В. Пузанов, Т. А. Рождественская, С. В. Бабошкина, Д. Н. Балькин, И. В. Горбачев.</i> Экология и свойства почв Самахинской степи Юго-Восточного Алтая . . . . .	110
<i>А. А. Данилова.</i> Микробные пейзажи мерзлотных почв при изоляции деградированного пастбища . . . . .	118
<i>Д. В. Васин, Ю. М. Гришаева, З. Н. Ткачева, Н. А. Мартьянова.</i> Содержание хлорофилла «а» и особенности вертикального распределения температуры воды в озерах Валдайское и Ужин . . . . .	122
<i>Т. А. Аюшина, В. И. Убугунова, Ц. Н. Насатыева.</i> Засоленные почвы южной окраины Северной Азии: разнообразие и особенности природопользования . . . . .	129

### **Раздел 4. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география**

<i>С. А. Шабалина, Т. Э. Курмаев.</i> К вопросу вовлечения объектов ЮНЕСКО Республики Татарстан в развитие туризма на основе механизма рационального использования . . . . .	133
--	-----

### **Раздел 5. Картография**

<i>Я. И. Торговкин, А. А. Шестакова, А. И. Васильев.</i> Пространственный анализ распространения аласов Центральной Якутии с применением ГИС-технологий . . . . .	138
---	-----

### **Раздел 6. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель**

<i>П. В. Ефремов.</i> Криоэкологический мониторинг пахотных земель Центральной Якутии . . . . .	141
---	-----

### **Раздел 7. Экологические технологии и инновации**

<i>В. А. Фадеев, Б. И. Кочуров, И. К. Ермолаев, В. А. Лобковский.</i> О возможном изменении динамического баланса окружающей среды для улучшения экологической обстановки в районе г. Красноярска и г. Омска . . . . .	144
--	-----

## **CONTENTS**

### **Section 1. Ecology**

<i>S. N. Artemova, D. S. Ikonnikov, O. Ph. Prikazchikova.</i> Historical and geo-ecological features of the formation of cultural landscapes of the Upper Possurie and Primokshanie during the Aeneolithic Period . . . . .	6
<i>V. Yu. Soldatova, A. P. Samsonova.</i> The influence of environmental conditions of the urban environment on the quality of seeds and morphological indicators of the birch leaf blade of <i>Betula pendula</i> Roth. . . . .	12
<i>T. I. Khomenushko, S. N. Rusak, M. I. Kurilenko.</i> Estimation of background contamination of the water bodies' bottom sediments in the north-eastern part of the Taymyr district of the Krasnoyarsk Region . . . . .	16
<i>N. P. Tarabukina, M. P. Neustroev, M. P. Scryabina, A. M. Stepanova, S. I. Parnikova, A. A. Bylgayeva, M. M. Neustroev.</i> The role of bacteria of the genus <i>Bacillus</i> in the preservation of the remains of the mammoth fauna in perennial frozen soils . . . . .	21
<i>M. G. Maleva, N. V. Chukina, G. G. Borisova, O. S. Sinenko, G. I. Shiryayev.</i> Structural and functional changes of <i>Typha latifolia</i> L. photosynthetic apparatus under technogenic pollution . . . . .	24
<i>T. S. Chibrik, N. V. Lukina, E. I. Filimonova, M. A. Glazyrina, E. A. Rakov.</i> Phytocenosis formation at the Nizhneturinskaya power station ash dumps . . . . .	27

<i>A. V. Protopopov, V. V. Protopopova.</i> Ecological factors of the vegetation cover formation in the Late Pleistocene in Yakutia's territory	30
<i>G. D. Chimitdorzhieva, Ts. D.-Ts. Korsunova, A. Z. Nimbueva.</i> Manganese, cobalt in the system of rock — soil — humus substances — plants of Western Transbaikalia	33

## Section 2. Geoecology

<i>N. E. Sivtseva.</i> Geochemical studies of anthropogenically modified soils of Yakutsk	36
<i>G. A. Bortnikova, L. A. Mezhova, A. M. Lugovskoy, M. Yu. Evdokimov, A. Yu. Tkachyov, P. V. Rikhardt.</i> Geo-environmental reclamation and rehabilitation of areas of the quarries for constructional material extraction	40
<i>G. S. Rozenberg.</i> Europe and its biggest river: a comparison indicators of sustainable development	46
<i>A. A. Grigorieva, G. E. Mironova, L. D. Olesova, Z. N. Krivoshapkina, E. I. Semenova, A. V. Efremova, L. I. Konstantinova, A. I. Yakovleva, E. D. Okhlopkova.</i> Heavy metals as a factor of environmental pollution in cryolithozone conditions	51
<i>N. G. Belova, S. A. Ogorodov, O. S. Shilova, A. V. Novikova, D. M. Aleksyutina.</i> Coastal erosion monitoring at the Bovanenkovo-Ukhta gas pipeline landfall, the Western Yamal, the Kara Sea coast	59
<i>A. S. Kholodov, V. A. Drozd, V. V. Chernyshev, K. Yu. Kirichenko, V. V. Chaika, K. S. Golokhvast.</i> The first data on the particle size composition of atmospheric particulates in Anadyr and Pevek	65
<i>S. B. Sosorova, V. L. Ubugunov, I. N. Lavrentyeva, L. L. Ubugunov, L. N. Boloneva, Yu. A. Rupyshev, E. G. Tsyrempilov.</i> Geoecological assessment of reclaimed areas of the Dzhida tungsten-molybdenum industrial complex (the Republic of Buryatia)	69
<i>S. V. Kiseleva, A. A. Tulegenova.</i> Spatial analysis methods for estimating the potential of energy production using biogas stations	73
<i>V. A. Stolbov, Yu. O. Belonogova, A. Z. Oschepkova.</i> Territorial schemes of municipal solid waste management as a basis for safe and sustainable development of the regions: review of practice of allocation areas of activity of regional municipal solid waste operators in Russian Regions	78
<i>P. I. Sobakin.</i> Heavy natural radionuclides in the soils of technogenic landscapes of Southern Yakutia	88
<i>E. A. Minakova, A. P. Shlychkov.</i> Losses of biogenic substances with atmospheric sediments in the basin of the Middle and Lower Volga	92

## Section 3. Physical geography and biogeography, soil geography and landscape geochemistry

<i>A. A. Perk, P. I. Sobakin.</i> Woody plants as nitrogen fixers under the conditions of radionuclide contamination of South Yakutia	98
<i>A. P. Chevychelov.</i> Post-pyrogenic transformations of frozen soils of the North-East of Russia	101
<i>A. G. Larionov, M. V. Vladimirtseva.</i> Summer population of birds in areas of industrial development in the Western part of the Lena River Plateau	104
<i>P. Ya. Konstantinov, A. N. Fedorov.</i> Long-term temperature change of the permafrost in the areas of cuttings of the larch taiga in Central Yakutia	107
<i>S. N. Balykin, A. V. Puzanov, T. A. Rozhdestvenskaya, S. V. Baboshkina, D. N. Balykin, I. V. Gorbachev.</i> The ecology and properties of the soils in the Samakha steppe of the South-Eastern Altai	110
<i>A. A. Danilova.</i> Microbial landscapes of permafrost soils in degraded pasture exclusion	118
<i>D. V. Vasin, Yu. M. Grishayeva, Z. N. Tkachyova, N. A. Martyanova.</i> The maintenance of the chlorophyll "a" and the features of vertical distribution of water temperature in the lakes of Valdai and Uzhin	122
<i>T. A. Ayushina, V. I. Ubugunova, Ts. N. Nasatueva.</i> Saline soils of the southern border of North Asia: diversity and peculiarities of nature management	129

## Section 4. Economic, social, political and recreational geography

<i>S. A. Shabalina, T. E. Kurmaev.</i> Priority of the development strategy of the UNESCO heritage sites in the Republic of Tatarstan for tourism development	133
---	-----

## Section 5. Cartography

<i>Ya. I. Torgovkin, A. A. Shestakova, A. I. Vasiliev.</i> Spatial analysis of the distribution of alases of Central Yakutia applying GIS technologies	138
--	-----

## Section 6. Land use, land planning and landscape planning

<i>P. V. Efremov.</i> Cryoecological monitoring of croplands in Central Yakutia	141
---	-----

## Section 7. Environmentally sound technologies and innovations

<i>V. A. Fadeev, B. I. Kochurov, I. K. Ermolaev, V. A. Lobkovsky.</i> On the possible change in the dynamic balance of the environment to improve the ecological situation in the Krasnoyarsk and Omsk Regions	144
--	-----



## ИСТОРИКО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ВЕРХНЕГО ПОСУРЬЯ И ПРИМОКШАНЯ В ПЕРИОД ЭНЕОЛИТА

*С. Н. Артемова, кандидат географических наук, доцент, Пензенский государственный университет (ПГУ), art-serafima@yandex.ru, Пенза, Россия,*

*Д. С. Иконников, кандидат исторических наук, Пензенский государственный университет (ПГУ), ikonnikof-ds@mail.ru, Пенза, Россия,*

*О. Ф. Приказчикова, кандидат географических наук, доцент, Пензенский государственный университет, prikaz4ikowa.ola@yandex.ru, Пенза, Россия*

Историко-географический подход к изучению культурных ландшафтов на региональном уровне позволяет выявить основные проблемы взаимодействия человека с природой на разных этапах хозяйственного освоения и определить направления «устойчивого» адаптивного природопользования. Цель — раскрыть особенности формирования культурных ландшафтов Пензенской области в период энеолита через интенсивность использования природно-ресурсного потенциала и сохранение экологического равновесия в IV—III тысячелетиях до н. э.

Методологической основой исследований является теория культурного ландшафта. Информационная база формируется из сведений общественных наук и комплекса географических данных для территории Пензенской области. Исходными материалами изучения данного временного среза явились археологические материалы, которые сопоставлялись с данными палеогеографических исследований среднего голоцена. География энеолитических стоянок отражена на электронной карте хозяйственного освоения Пензенской области, выполненной в ГИС-системе QGIS.

Анализ археологических и палеогеографических данных позволяет выделить период энеолита как стадию хозяйственного освоения региона, для которой характерно начало перехода от присваивающего хозяйства к производящему. Это стадия начала выплавки металла, увеличения роли огня и трансформации лесов. Представители хвалынской археологической культуры являлись первыми носителями культурных традиций производящего (животноводческого) хозяйства, но основой хозяйства региона оставались присваивающие отрасли — охотничий и рыболовный промысел. Длительное проживание людей на сравнительно компактной территории в долинах рек приводило к трансформации ландшафтов на локальном уровне, в основном это пойменные ландшафты реки Сура.

**Введение.** Формирование культурных ландшафтов происходит в процессе длительного хозяйственного освоения территории. Свойства современного ландшафта зависят как от его природного потенциала и эволюции вмещающего природного ландшафта, так и от социально-экономических процессов в обществе. Историко-географический подход к изучению культурных ландшафтов на региональном уровне позволяет выявить основные проблемы взаимодействия человека с природой на разных этапах хозяйственного освоения и определить направления «устойчивого» адаптивного природопользования. Геоэкологический анализ состояния культурного ландшафта на разных этапах хозяйственного освоения предполагает, с одной стороны, анализ свойств, разнообразия и ресурсного потенциала природного вмещающего ландшафта, с другой стороны — анализ этнических особенностей населения, его хозяйственной деятельности и установления причин неблагоприятных экологических ситуаций.

Территория Пензенской области, расположенная в пределах двух ландшафтных провинций: лесостепь Приволжской возвышенности и лесостепь Окско-Донской низменности Восточно-Европейской равнины, обладает разнообразным и сложным ландшафтным устройством и высоким ресурсным потенциалом [1]. С другой стороны, она имеет длительную историю хозяйственного освоения и тесное сплетение угро-финской, славянской и тюркской культур, которые отразились на свойствах современных ландшафтов. Анализ процесса хозяйственного освоения территории Верхнего Посурья и Примокшанья на ранних этапах показал, что процесс освоения и расселения человека зависел в основном от природных условий и ресурсов. Осваивались хорошо дренированные, «теплые» места — приречные дюны, террасы. Древние стоянки были очагами хозяйственного освоения, вокруг которых формировались зоны взаимодействия с природными ландшафтами. В каменном веке преобладал присваивающий тип хозяйства, где ведущими были рыболовство и охота. Редко-очаговое расселение не оказывало существенного влияния на трансформацию природных ландшафтов [2].

Historical and geographical approach to the study of cultural landscapes at a regional level allows us to identify the main problems of human interaction with nature at different stages of economic development and to determine the direction of “sustainable” adaptive nature. The aim is to reveal the peculiarities of the formation of cultural landscapes of the Penza Region in the Eneolithic period through the intensity of the use of natural resource potential and the preservation of ecological balance in the IV—III Millennium BC.

The methodological basis of research is the theory of cultural landscape. The information base is formed due to the data of social sciences and a set of geographic data for the territory of the Penza Region. The initial materials for studying this time section were archaeological data, which were compared with the data of paleogeographic studies of the Middle Holocene. The geography of the Eneolithic sites is reflected in the electronic map of the economic development of the Penza Region carried out in the GIS-system QGIS.

Analysis of archaeological and paleogeographic data allows us to distinguish the period of the Eneolithic as a stage of economic development of the region, which is characterized by the beginning of the transition from the appropriating economy to the producing one. This is the stage of the beginning of smelting metal, the increase in the role of fire and the transformation of forests. The representatives of the Khvalyn archeological culture were the first bearers of the cultural traditions of the producing (cattle-breeding) economy, but the appropriating branches — hunting and fishing — remained the basis of the economy of the region. The long-term settlement of people in a relatively compact area in the river valleys led to the transformation of landscapes at the local level, mainly these are flood landscapes of the river of Sura.

**Ключевые слова:** процесс хозяйственного освоения, историко-географический анализ, культурные ландшафты, Пензенская область, Верхнее Посурье и Примокшанье, энеолит, археологические культуры, присваивающее хозяйство.

**Keywords:** the process of economic development, historical and geographical analysis, cultural landscapes, the Penza Region, the Upper Possurie and Prikomshanie, the Eneolithic period, archeological cultures, appropriating economy.

Период энеолита (меднокаменного века, IV—III тыс. до н. э.) ознаменовался первыми попытками людей освоить обработку металлов. Значение этих попыток трудно переоценить, так как именно освоение техники обработки металлов привело к росту производительных сил и в дальнейшем открыло путь к развитию производящих отраслей хозяйства. Конечно, переход от присваивающего хозяйства к производящему осуществился не одновременно и не автоматически, но сама возможность этого перехода появилась именно тогда, когда начались первые «эксперименты» с обработкой металлов. Этим обусловлен особый интерес к периоду энеолита в истории человечества. Одновременно с ростом производительных сил увеличивалась степень антропогенного воздействия на ландшафт. Этот процесс проходил постепенно и неравномерно на различных территориях.

В данной работе предпринята попытка раскрыть особенности формирования культурных ландшафтов региона в период энеолита через интенсивность использования природно-ресурсного потенциала и сохранение экологического равновесия на данной стадии хозяйственного освоения. Районом исследования является Верхнее Посурье и Примокшанье, территориально совпадающие с Пензенской областью.

**Материалы и методы.** Методологической основой исследования является теория культурного ландшафта, которая базируется на двух аспектах: хронологическом и географическом. Территориальный подход раскрывает организацию и закономерности распределения природно-хозяйственных систем, а исторический рассматривает временную смену состояния культурных ландшафтов. Предполагается на региональном уровне многоступенчатое расчленение территории на основе состояния природно-социально-хозяйственных систем и проявления природно-исторического наследия.

Информационная база формируется из сведений общественных наук и комплекса географических данных (минеральные, почвенные, водные, растительные и промысловые ресурсы). Исходными материалами для исследования природного и исторического наследия энеолита на исследуемой территории явились археологические материалы, которые содержатся в работах Ставицкого В. В., Юдина А. И., Королева А. И. и др.

О структуре и свойствах природных геосистем этого периода можно судить лишь по палеогеографическим данным среднего голоцена, которые были проанализированы в предыдущих работах [2, 3]. Результаты пространственно-временного анализа процесса хозяйственного освоения данного исторического среза отражены на карте, выполненной с использованием современных ГИС-технологий.

**Результаты и обсуждение.** Смена периодов формирования культурного ландшафта, как правило, характеризуется качественным изменением ведущего типа хозяйственного освоения, что связано с ростом численности населения и развитием общества. Однако немаловажное значение имеют и изменения природных процессов. Период энеолита в палеогеографии совпадает с суббореальным периодом голоцена (4,5—2,5 тыс. календарных лет назад), который характеризуется изменением климата и природной трансформацией ландшафтов. После климатического оптимума конца атлантического — начала суббореального периода климат становится сначала умеренно теплым и сухим, а затем прохладным и влажным [4]. Изменения в природных ланд-

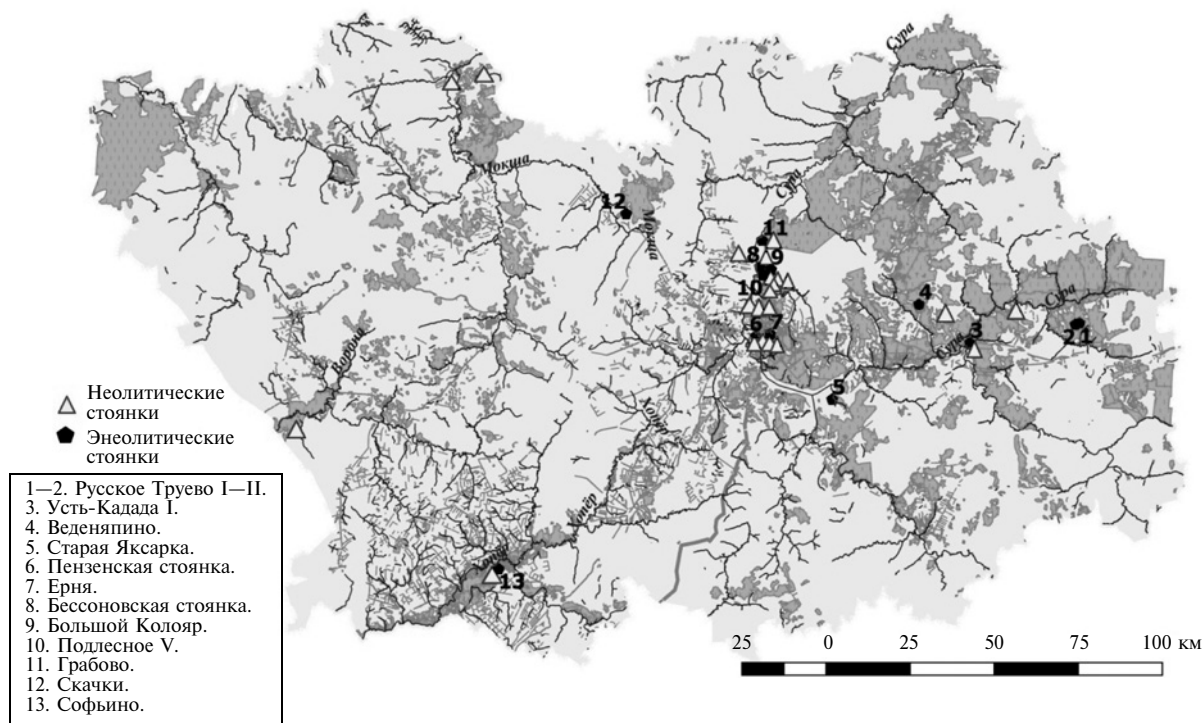


Рис. 1. Энеолитические поселения Верхнего Посурья и Приморекшья (по В. В. Ставицкому)

шафтах на территории Пензенской области происходят в сторону усыхания болот, уменьшения роли широколиственных видов деревьев в лесах и увеличение доли сосны. В целом площадь лесов сокращается, на юге господствуют дерновинно-злаковые степи. Степные виды распространяются на север и занимают наиболее благоприятные территории речных террас вторично моренных и эрозионно-денудационных равнин [3]. Изменения в природе значительно повлияли на народы того времени. Археологические данные лесной зоны этого периода [5] свидетельствуют о росте численности населения, массовом переселении народов, что нашло отражение и на территории нашей области.

В период энеолита на территории региона было зафиксировано проживание представителей не менее пяти археологических культур — мариупольской, хвалынской, алтатинской, воловской и имерской. Археологические памятники расположены в основном в пойменных ландшафтах древнеаллювиальных равнин, как и стоянки неолита, а также наблюдается продвижение вглубь лесов, в поймы малых рек (рис. 1).

**Мариупольская археологическая культурно-историческая область:** материалы, напоминающие мариупольские, встречены на Пензенских стоянках, на поселении Софьино (современный Сердобский район) и поселении Веденяпино (современный Городищенский район) (рис. 1). Миграцию представителей данной культуры на

территорию региона В. В. Ставицкий относит к первой половине IV тыс. до н. э. [6, с. 138].

Хозяйственная деятельность носителей мариупольских культурных традиций остается дискуссионной. Поделки из зубов рыб и оленей на раннем этапе, изделия из кости и кабаньих клыков на позднем этапе свидетельствуют о развитии рыболовства и охоты. Важную роль в хозяйстве играл огонь, о чем свидетельствуют погребальные обряды того времени [7]. На поселении Веденяпино были широко представлены микролитические изделия [6]. Не исключено, что с носителями мариупольских культурных традиций было связано и появление на Пензенской и Бессоновской стоянках изделий из крупных ножевидных пластин. Однако они могли попасть в Верхнее Посурье в результате обмена [6, с. 140]. Примечательно, что на памятниках мариупольского типа подобные пластины служили, кроме всего прочего, заготовками для наконечников копий [7], служивших охотничьими орудиями.

**Хвалынская культурно-историческая область** распространялась на территорию Северного Прикаспия, степную и лесостепную полосу Приуралья, Поволжья и Волго-Донского междуречья [8, с. 225]. Период, которым датировалась культура, определяется в диапазоне 5300—3900 гг. до н. э. (вероятность 95,4 %) [9, с. 271], то есть, преимущественно, укладывается в рамки V—IV тыс. до н. э. Поселения хвалынских племен, как правило, располагались на берегах стариц и на возвышен-

ностях в поймах рек. По данным А. Г. Петренко, доминирующей отраслью хозяйства населения хвалынской культуры было животноводство. Разводили крупный, мелкий рогатый скот и лошадей. Кроме того, местное население занималось охотой, рыболовством и собирательством [8, с. 228]. Вероятно, хвалынцы были первым населением Верхнего Посурья и Примокшанья с производящим хозяйством.

На территории Верхнего Посурья хвалынские материалы были обнаружены на поселении Русское Труево I (Кузнецкий район Пензенской области), где были раскопаны три жилища хвалынского времени [6, с. 140].

Памятники *алтатинской культуры* преимущественно были распространены на территории Нижнего Поволжья [10, с. 56]. Хронологические рамки культуры остаются дискуссионными. Временной диапазон, к которому относят культуру — 4260—3770 лет до н. э. [9, с. 271], то есть вторая половина V — первая половина IV тыс. до н. э.

На территории Верхнего Посурья алтатинские материалы были встречены на поселении Русское Труево II (территория Кузнецкого района Пензенской области). Кроме того, артефакты алтатинского облика были встречены на поселениях Старая Яксарка, Усть-Кадада I. Следы взаимодействия хвалынского и алтатинского населения отмечены на поселении Русское Труево I [6, с. 144—145] (рис. 1). С поселения Русское Труево II имеются две радиоуглеродные даты: по керамике (3650—3300 лет до н. э.) и по кости (3700—3490 лет до н. э.) [10, с. 57].

Хозяйственная деятельность алтатинского населения остается дискуссионной. Находки наконечников стрел (преимущественно треугольно-черешковой формы) на поселении Русское Труево II [6, с. 144], возможно, указывают на заметную роль охоты.

*Волосовская культурно-историческая область* имела обширный ареал в Восточной Европе от Прибалтики до Прикамья [12, с. 12] и существовала с первой четверти III тыс. до н. э. до первой четверти II тыс. до н. э. [12, с. 13—14]. В Верхнем Посурье и Примокшанье волосовские материалы встречены на поселениях Подлесное V (Бессоновский район Пензенской области) и Ерня (окрестности Пензы) (рис. 1). Сравнительно близко к границам региона располагались поселения Имерка I, II, III, VIII (Зубово-Полянский район Республики Мордовии), Волгапино (Ковылкинский район Республики Мордовии) и Широмасово II (Теньгушевский район Республики Мордовии) [11, с. 9]. Имеются радиоуглеродные даты с поселения Имерка VIII, которые укладываются в отрезок между серединой и концом III тыс. до н. э. [11, с. 13—14].

Каменный инвентарь с волосовских памятников разнообразен: встречались наконечники стрел и дротиков, обнаружены каменные топоры, тесла, долота, рубанки [12, с. 18], что свидетельствовало о сравнительно широком распространении деревообработки. Для волосовской культурно-исторической области были характерны постоянные поселения с жилищами, имевшими в плане прямоугольную форму и заглубленными в землю до 50—70 см [12, с. 15]. В строительстве широко использовалось дерево [11, с. 11].

По данным с поселения Имерка VIII, у местного волосовского населения до конца III тыс. до н. э. не было производящего хозяйства. На памятнике обнаружены кости 13 биологических видов животных, из которых преобладали кости лося, кабана, медведя и куницы, многочисленны находки костей рыб [13, табл. 1]. Рыболовство было вторым по значению после охоты занятием местного населения.

*Имеркская культура* была распространена в Примокшанье и Верхнем Посурье. Имеркские материалы встречены на поселениях Грабово I, Большой Колояр (Бессоновский район Пензенской области) и Скачки (Мокшанский район Пензенской области) (рис. 1). Кроме того, поселения с имеркскими материалами обнаружены на территории Примокшанья вблизи исследуемой территории: поселения Имерка V, VI, VIII (Зубово-Полянский район Республики Мордовии), Новый Усад IV (Арзамасский район Нижегородской области), Волгапино (Ковылкинский район Республики Мордовии), Широмасово II (Теньгушевский район Республики Мордовии), Машкино VI и X (Краснослободский район Республики Мордовии) [11, с. 7].

Имеркское население проживало в регионе одновременно с поздневолосовским и в более позднее время. С поселения Волгапино были получены две радиоуглеродные даты, свидетельствующие о существовании памятника во второй четверти — середине II тыс. до н. э. [11, с. 21]. Таким образом, имеркскую культуру можно датировать концом III—II тыс. до н. э. Она была наиболее поздней энеолитической культурой региона. Во время ее существования здесь появляется население культур бронзового века [11, с. 21].

Находки льячек и литейных форм на имеркских поселениях говорит об обработке металла. При этом каменный инвентарь относительно беден по сравнению с волосовскими материалами, что могло свидетельствовать о вытеснении каменных орудий медными [11, с. 17]. Среди каменного инвентаря, встреченного на имеркских памятниках, отмечались наконечники стрел, топоры, долота, тесла. Были сравнительно широко распространены медеплавильные инструменты.

Вызывает интерес находка фрагмента льячки для изготовления крупного предмета, возможно топора, с поселения Новый Усад IV и находка медной фигурки головы медведя с поселения Имерки V [11, с. 17]. Первое изделие указывало на существование деревообработки, второе — на определенное значение диких животных для хозяйственной деятельности, косвенно это свидетельствовало о существовании охоты.

**Заключение.** Таким образом, анализ археологических и палеогеографических данных позволяет выделить период энеолита как стадию хозяйственного освоения региона, для которой характерно начало перехода от присваивающего хозяйства к производящему и, как начальную стадию формирования культурных ландшафтов. В пределах Пензенской области, как и в пределах всего Окско-Волжского междуречья в целом, в этот период происходило взаимодействие культур собирателей, охотников, рыболовов с культурами племен, которые являлись зачинателями примитивного земледелия. В период энеолита на территории Верхнего Посурья и Примокшанья, вероятно, появились первые носители культурных традиций производящего (животноводческого) хозяйства — представители хвалынской археологической культуры. Однако нет оснований считать, что животноводческие традиции укоренились у населения региона. Основой хозяйства региона оставались присваивающие отрасли — охотничий и рыболовный промысел.

Среди факторов, связанных с производственной деятельностью, следует отметить начало выплавки металла. Это привело, прежде всего, к увеличению роли огня. О его большом значении в хозяйственной деятельности могут говорить признаки культа огня, зафиксированные у носителей мариупольских культурных традиций. Широкое употребление огня, безусловно, приводило к увеличению угрозы появления пожаров антропогенного происхождения, что влекло за собой изменение структуры почвенно-растительного покрова и животного мира [14]. Кроме того, появление медеплавильного производства, даже в самом примитивном виде, не могло не привести к увеличению расхода топлива, в качестве которого использовался древесный уголь. Получить

древесину для его производства можно было либо путем валки леса, либо путем сбора сухой древесины в виде хвороста, ветровалов, засохших на корню деревьев и т.д. С большой долей вероятности можно предположить, что в неолите и в энеолите не существовало рубки леса, так как каменные и медные орудия были плохо приспособлены для этого. Скорее всего, валился сухостой, либо у живого дерева загодя подсекалась кора, отчего оно засыхало на корню и валилось с помощью мышечной тяги. Следует также помнить о том, что дерево, как и в более раннее время, широко использовалось для постройки жилищ, изготовления бытовой утвари и т.д. Маловероятно, что в период энеолита лесные площади Верхнего Посурья и Примокшанья существенно сократились. Основными способами получения пищевых ресурсов на протяжении меднокаменного века в регионе оставались охота и рыболовство, то есть хозяйство имело присваивающий характер.

Большая часть носителей энеолитических культурных традиций на территории региона проживали в долговременных поселениях. В большинстве случаев археологами были зафиксированы следы постоянных жилищ. Длительное проживание людей на сравнительно компактной территории поселения в долинах рек приводило к трансформации ландшафтов на локальном уровне. Уровень воздействия человека на природный вмещающий ландшафт на территории поселений в период энеолита, с большой долей вероятности, возрос по сравнению с периодом каменного века, благодаря совершенствованию техники обработки камня и появлению медных орудий. Однако значительного нарушения экологического равновесия не произошло, оно поддерживалось естественным путем и за счет миграции населения. Природный потенциал ландшафтов оставался высоким: реки и пойменные озера эвтрофного типа богаты рыбой (осетровые долго сохранялись при обработке огнем), в лесах много животных (лось, кабан, бобр, глухарь, тетерев, рябчик, водоплавающая дичь). Происходила незначительная трансформация долинных ландшафтов, в основном — пойменных ландшафтов реки Сура.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (региональный конкурс). Проект № 17-11-58005-ОГН/18.*

### Библиографический список

1. Ямашкин А. А., Артемова С. Н., Новикова Л. А., Леонова Н. А., Алексеева Н. С. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области // Проблемы региональной экологии. — 2011. — № 1. — С. 49—57.
2. Иконников Д. С., Артемова С. Н., Приказчикова О. Ф., Жогова М. Л. Особенности формирования культурных ландшафтов Пензенской области на ранних этапах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. — 2017. — № 4 (20). — С. 116—129.
3. Артемова С. Н., Иконников Д. С., Ломов С. П. Общая характеристика развития и динамики ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. — 2017. — № 3 (19). — С. 91—106.

4. Нейштадт М. И., Гуделис В. К. Проблемы голоцена // Вопросы голоцена / Ин-т географии АН СССР; Ин-т геологии и географии АН Лит. ССР. Вильнюс. — 1961. — С. 5—44.
5. Третьяков П. Н. К вопросу о возникновении и древнейшей истории финно-угорских племен Поволжья // Научная сессия по этногенезу мордовского народа. Саранск, 1964. С. 23—56.
6. Ставицкий В. В. Ранний энеолит Пензенского края // Известия ПГПУ. Гуманитарные науки. № 9 (13). — Пенза, 2008. — С. 138—146.
7. Телегин Д. Я. Раскопки в Ясиноватке (о периодизации могильников мариупольского типа) // Советская археология. № 4. — М.: Наука, 1988. — С. 5—18.
8. История Самарского Поволжья с древнейших времен до наших дней. Каменный век. — Самара. — 2000. — 311 с.
9. Королев А. И., Шалапинин А. А. К вопросу о хронологии и периодизации энеолита степного и лесостепного Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16. № 3. — Самара. — 2014. — С. 266—275.
10. Юдин А. И. Алтатинская культура: проблемы хронологии и синхронизации // Неолитические культуры Восточной Европы: Хронология, палеоэкология, традиции. — СПб., 2015. — С. 56—60.
11. Королев А. И. Энеолит Примокшанья и Верхнего Посурья: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата исторических наук. Специальность 07.00.06. — Археология. — Ижевск. — 1999. — 22 с.
12. Эпоха бронзы лесной полосы СССР / Под общ. ред. Б. А. Рыбакова / Археология СССР. — М.: Наука, 1987. — 470 с.
13. Королев А. И., Косинцев П. А. Хозяйство волосовского населения Примокшанья (по данным поселения Имерка VIII) // Неолитические культуры восточной Европы: Хронология, палеоэкология, традиции: Материалы Международной научной конференции, посвященной 75-летию Виктора Петровича Третьякова. — СПб., 2015. — С. 295—298.
14. Бобровский М. В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — 359 с.

---

## HISTORICAL AND GEO-ECOLOGICAL FEATURES OF THE FORMATION OF CULTURAL LANDSCAPES OF THE UPPER POSSURIE AND PRIMOKSHANIE DURING THE AENEOLITHIC PERIOD

**S. N. Artemova**, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Penza State University (PGU), art-serafima@yandex.ru, Penza, Russia,

**D. S. Ikonnikov**, Ph. D. (History), Penza State University (PGU), ikonnikof-ds@mail.ru, Penza, Russia,

**O. Ph. Prikazchikova**, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Penza State University, prikaz4ikowa.ola@yandex.ru, Penza, Russia

### References

1. Yamashkin A. A., Artemova S. N., Novikova L. A., Leonova N. A., Alekseyeva N. S. Landshaftnaya karta i prostranstvennyye zakonomernosti prirodnoy differentsiatsii Penzenskoy oblasti. [Landscape map and spatial patterns of natural differentiation of the Penza Region]. *Problemy regional'noy ekologii*, Penza. No. 1, 2011. P. 49—57. [in Russian]
2. Ikonnikov D. S., Artemova S. N., Prikazchikova O. Ph., Zhogova M. L. Osobennosti formirovaniya kul'turnykh landshaftov Penzenskoy oblasti na rannikh etapakh. [Features of the formation of cultural landscapes of the Penza Region in the early stages]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Yestestvennyye nauki*. Penza. 2017. No. 4 (20). P. 116—129. [in Russian]
3. Artemova S. N., Ikonnikov D. S., Lomov S. P. Obschaya kharakteristika razvitiya i dinamiki landshaftov Verkhnego Posur'ya i Primokshan'ya v golotsene. [General characteristics of the development and dynamics of the landscapes of the Upper Posur'ye and the surrounding area in the Holocene]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Yestestvennyye nauki*. Penza, 2017. No. 3 (19). P. 91—106. [in Russian]
4. Neyshtadt M. I., Gudelis V. K. Problemy golotsena. [Holocene problems]. *Voprosy golotsena*. In-t geografii AN SSSR; In-t geologii i geografii AN Lit. SSR. Vil'nyus, 1961. P. 5—44. [in Russian]
5. Tret'yakov P. N. K voprosu o vznikenii i drevneyshoy istorii finno-ugorskikh plemen Povolzh'ya. [On the question of the origin and ancient history of the Finno-Ugric tribes of the Volga Region]. *Nauchnaya sessiya po etnogenezu mordovskogo naroda*, Saransk. 1964. P. 23—56. [in Russian]
6. Stavitskiy V. V. Ranniy eneolit Penzenskogo kraya. [The Early Eneolith of the Penza Region]. *Izvestiya PGPU. Gumanitarnyye nauki*, Penza. No. 9 (13). 2008. P. 138—146. [in Russian]
7. Telegin D. Ya. Raskopki v Yasinovatke (o periodizatsii mogil'nikov mariupol'skogo tipa). [Excavations in Yasinovatka (on the periodization of Mariupol type burial grounds)]. *Sovetskaya arkheologiya*. No. 4. Moscow, Nauka, 1988. P. 5—18. [in Russian]
8. Istoriya Samarskogo Povolzh'ya s drevneyshikh vremen do nashikh dney. Kamennyy vek. [History of the Samara Volga region from ancient times to the present day. Stone Age]. Samara, 2000. 311 p. [in Russian]
9. Korolov A. I., Shalapinin A. A. K voprosu o khronologii i periodizatsii eneolita stepnogo i lesostepnogo Povolzh'ya. [On the question of chronology and periodization of the Eneolithic period of the steppe and forest-steppe Volga Region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. Vol. 16. No. 3. Samara, 2014. P. 266—275. [in Russian]
10. Yudin A. I. Altatinskaya kul'tura: problemy khronologii i sinkhronizatsii. [Altatinsky culture: problems of chronology and synchronization]. *Neoliticheskiye kul'tury Vostochnoy Yevropy: Khronologiya, paleoekologiya, traditsii*. S.-Peterburg, 2015. P. 56—60. [in Russian]
11. Korolev A. I. Eneolit Primokshan'ya i Verkhnego Posur'ya [Aeneolithic Primokshanya and Upper Posur'ye]: *Avtoferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata istoricheskikh nauk. Spetsial'nost' 07.00.06. Arkheologiya*. Izhevsk. 1999. 22 p. [in Russian]
12. Epokha bronzy lesnoy polosy SSSR. [The Bronze Age of the Forest belt of the USSR]. Pod obshch. red. B. A. Rybakova. *Arkheologiya SSSR*. Moscow, Nauka. 1987. 470 p. [in Russian]
13. Korolev A. I., Kosintsev P. A. Khozyaystvo volosovskogo naseleniya Primokshan'ya (po dannym poseleniya Imerka VIII). [Agriculture of the Volosovo population of Primokshanya (according to the data of Imerka VIII)]. *Neoliticheskiye kul'tury vostochnoy Yevropy: Khronologiya, paleoekologiya, traditsii: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu Viktora Petrovicha Tret'yakova*. S.-Peterburg, 2015. P. 295—298. [in Russian]
14. Bobrovskiy M. V. Lesnyye pochvy Yevropeyskoy Rossii: bioticheskiye i antropogennyye faktory formirovaniya. [Forest soils of European Russia: biotic and anthropogenic factors of formation]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. 359 p. [in Russian]

# ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА КАЧЕСТВО СЕМЯН И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ *BETULA PENDULA* ROTH.

В. Ю. Солдатова, к. б. н., доцент,  
Институт естественных наук,  
Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова,  
solvik75@mail.ru,  
А. П. Самсонова, студент,  
Институт естественных наук,  
Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова,  
allgystaana@gmail.com

Проведена оценка качества семян и морфологических показателей листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* Roth. на территории г. Якутска. С 11 точек, расположенных в четырех экологических зонах города, собрано и проанализировано 1088 листьев и 93 соцветий. Понижение качества семян выражается в понижении ее массы, энергии прорастания и всхожести на территории города по сравнению с рекреационной зоной. Показатель флуктуирующей асимметрии (ФА) варьировал в пределах 0,042—0,053, что соответствует качеству среды от условно нормального до существенных отклонений. Наиболее благополучно состояние берез в рекреационной зоне города. Неблагополучные показатели ФА характерны для берез, произрастающих в центральной и северной части города, где наблюдается интенсивный поток автотранспорта и расположены крупные промышленные объекты. В целом, можно отметить статистически значимую отрицательную корреляционную зависимость между величиной ФА (отражающей нарушения стабильности развития) и показателями качества семян. Минимальное среднее количество семян (199,5) наблюдается в рекреационной зоне, а максимальное число (317,6) в промышленной. Низкие показатели качества семян, возможно, компенсируются увеличением количества семян, что свидетельствует о согласованности реакций организма на загрязнение среды.

The paper presents the evaluation of the quality and morphological indicators of seeds and leaves of *Betula pendula* Roth in the territory of Yakutsk. For the research, 1088 leaves and 93 catkins were collected from 11 plots, located in four ecological zones of the city. The decrease in the quality of seeds results in the decrease in its mass, germination energy and seed germination in the territory of the city in comparison with the recreational zone. The indicator of fluctuating asymmetry (FA) varied in the range of 0.042—0.053, which corresponds to the quality of the medium from conventionally normal to significant deviations. The most safely is the condition of birches in the recreational zone of the city. Poor FA indicators are characteristic of the birch trees growing in the central and northern part of the city, where there is an intensive traffic flow and large industrial facilities are located. In general, we can note a statistically significant negative correlation between the value of FA (reflecting a violation of developmental stability) and seed quality indicators. The minimum average number of seeds (199.5) is observed in the recreational zone, and the maximum number (317.6) in the industrial one. Poor seed quality indicators may be compensated by an increase in the quantity of seeds, this fact indicates the consistency of the organism's reactions to an environmental pollution.

**Ключевые слова:** флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, качество среды, урбанизированная территория, биотестирование, энергия прорастания, всхожесть семян.

**Keywords:** fluctuating asymmetry, developmental stability, environmental quality, urban areas, bioassay, germination energy, seed germination.

**Введение.** Древесные растения в городских ландшафтах выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции, связанные с выделением кислорода и фитонцидов, ионизацией воздуха, формированием своеобразного микроклимата, улавливанием загрязнений. Однако насаждения, произрастающие на урбанизированных территориях, испытывают на себе постоянное отрицательное влияние техногенного загрязнения. Вредные выбросы автотранспорта и промышленных предприятий, превышающие ПДК, губят растительность на локальных территориях и в масштабе целых районов. Продолжительность жизни деревьев сокращается в 4—10 раз, особенно при неправильном подборе посадочного материала [1]. Поэтому с каждым годом все большее значение приобретает проблема изучения жизнедеятельности древесных растений в городских условиях.

В городах и промышленных центрах у растений наблюдаются нарушения в процессе роста и развития в виде различных морфологических, анатомических и репродуктивных изменений структур [2—6]. Достаточно большое число работ посвящено изучению флуктуирующей асимметрии (ФА) у растений при оценке антропогенного воздействия в городской, рекреационной среде и в окрестностях промышленных объектов [7—9].

Целью наших исследований является изучение влияния экологических условий городской среды на качество семян и морфологические показатели листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

**Материал и методы исследований.** Материал собран в летний период 2017 г. Обследовано 11 точек в разных районах города, в непосредственной близости от проезжей части улиц. Для изучения качества семян в каждой точке выбирались 3 дерева и с каждого дерева собирали по три срезки. Количество семян определяли методом подсчета. Лабораторную всхожесть семян оценивали в соответствии с ГОСТ 13056.6—97 [10].

В качестве морфологических показателей использовали: длину, ширину, площадь и ФА листовой пластинки березы повислой. В каждой точке собрано по 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев), но в ряде случаев при нехватке деревьев в пункте исследования соб-

рано меньшее число листьев. Листья собирали после полной остановки роста листьев, с укороченных побегов равномерно по всему периметру в нижней части кроны у деревьев среднего генеративного возраста (g2), растущих в условиях примерно одинаковой освещенности. Длину, ширину листа измеряли с помощью линейки. Для определения площади листа использовали метод промеров. Для оценки величины ФА выбирают признаки, характеризующие общие особенности листа, удобные для учета и дающие возможность однозначной оценки [11]. Всего промерено 1088 листьев. Листья промерялись в программе Bio, после сканирования, линейные измерения производили с точностью до 0,1 мм, и угловые — до 0,1°. При оценке качества среды использовали балльную шкалу, предложенную В. М. Захаровым с соавторами [11]. По данной шкале качество среды оценивается по 5 баллам от условно нормального до критического.

Статистическая обработка результатов проводилась в программах Microsoft Excel и Statistica-9, значимость различий оценивалась с применением критерия Стьюдента с поправкой Бонферони для множественных сравнений, корреляционные связи — с применением рангового коэффициента корреляции Спирмена.

**Обсуждение результатов.** Город был условно разделен на 4 зоны. *Первая зона* — это рекреационная зона, расположена в юго-западной части города, вдали от центра города, имеется зеленая зона, застроена малоэтажными жилыми домами и частным сектором. Характеризуется низким потоком автотранспорта — 135 авт./час.

*Вторая зона* — это окраина города, где преобладает частный сектор застройки, отсутствуют крупные промышленные предприятия. В этой зоне изучено 3 точки в юго-восточной, юго-западной и западной части города. Количество автомашин в среднем составило 586 ед. в час.

*Третья зона* — это центр города, где наблюдается интенсивный поток автотранспорта, количество проезжающих автомашин в среднем составило 1632 ед. в час. В данной зоне наблюдения проводили в четырех точках.

*Четвертая зона* (промышленная) — это северная часть города, где локализованы наиболее крупные предприятия. Участки интенсивного движения — 1555,6 ед. в час.

Количество семян варьировало от 132 до 450 штук в одной сережке. Минимальное количество семян наблюдали в рекреационной, а максимальное количество в промышленной зоне. Энергия прорастания семян варьировала от 14 до 52 %, всхожесть от 19,3 до 66,7 %. Наименьшие показатели ЭП и всхожести (<20 %) наблюдаются

в промышленной зоне, а наиболее высокие показатели (>55 %) наблюдаются в рекреационной и на окраинах города. Оба показателя статистически значимо коррелируют между собой (ранговый коэффициент корреляции Спирмена  $r = 0,9$ ,  $p < 0,01$ ).

Во всех трех зонах города среднее количество семян оказалось выше, чем в рекреационной зоне. А средняя масса семян, энергии прорастания и всхожести во всех зонах наоборот оказалась меньше, чем в рекреационной зоне (табл. 1). Видимо, как компенсация к негативным факторам среды у березы увеличивается количество семян в сережке.

Длина листовой пластинки во всех исследованных точках варьировала от 4,73 до 5,87 см. Ширина от 4,03 до 5,02 см. Площадь от 12,42 до 18,57 см<sup>2</sup>. Интегральный показатель нарушения стабильности развития березы повислой на исследованной территории варьировал в пределах 0,042—0,053. В рекреационной зоне показатель ФА составил 0,042, а на территории города 0,045—0,053, т. е. состояние среды варьирует от «незначительных отклонений от нормы — II балл» до «существенных отклонений — IV балл» (табл. 2).

Существенные отклонения от нормы (IV балл) наблюдаются в трех точках: ул. С. Данилова — 0,053, Октябрьская и Хабарова — 0,051. Это третья и четвертая зона. Также достаточно высокие показатели ФА (0,048—0,049, III балл) наблюдаются в центре города и в точках, где наблюдается высокая транспортная нагрузка с частыми заторами. Минимальные показатели ФА (0,045) наблюдались в спальнях районах города (табл. 2).

Во всех зонах г. Якутска наблюдается разная степень повышения уровня ФА березы повислой по сравнению с рекреационной зоной города (табл. 2). А также выявлена статистически значимая корреляция между ФА, энергией прораста-

**Таблица 1**  
**Средние показатели качества семян березы повислой в различных зонах г. Якутска**

Зона	Кол-во семян в сережке, шт.	Масса 1000 семян, г	Энергия прорастания семян, %	Всхожесть семян, %
I — рекреационная	199,5 ± 16,5	0,187 ± 0,027	41,3	57,3
II — окраина города	275,3 ± 19,9	0,181 ± 0,018	38,4	55,1
III — центр города	287,7 ± 14,6	0,166 ± 0,041	37,3	53,2
IV — промышленная	317,6 ± 30,1	0,155 ± 0,017	31,5	39,1

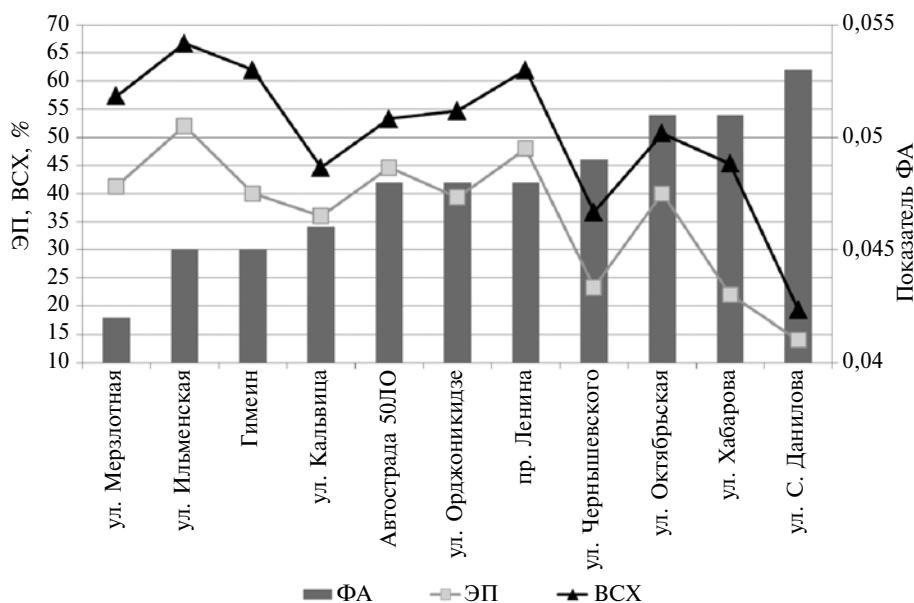


Рис. Корреляционная зависимость между показателем ФА, энергией прорастания и всхожестью семян березы повислой

Таблица 2

**Морфологические показатели листовой пластинки березы повислой на территории г. Якутска в 2017 г.**

№	Точка	n	ФА	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см <sup>2</sup>
<b>I — рекреационная зона</b>						
1.	ул. Мерзлотная	100	0,042 ± 0,0019	5,39 ± 0,063	4,58 ± 0,053	15,96 ± 0,338
<b>II зона — окраина города</b>						
2.	Гимеин	100	0,045 ± 0,0018	5,08 ± 0,062	4,17 ± 0,049	13,72 ± 0,304
3.	ул. Чернышевского	100	0,049* ± 0,0022	5,26 ± 0,054	4,22 ± 0,058	14,26 ± 0,236
4.	ул. Ильменская	100	0,045 ± 0,0021	4,96 ± 0,086	4,03 ± 0,064	13,08 ± 0,430
<b>III зона — центр города</b>						
5.	ул. Орджоникидзе	100	0,048* ± 0,0023	5,45 ± 0,083	4,54 ± 0,069	16,08 ± 0,445
6.	ул. Октябрьская	100	0,051* ± 0,0023	5,25 ± 0,068	4,36 ± 0,056	14,85 ± 0,348
7.	ул. Хабарова	98	0,051* ± 0,0024	5,67 ± 0,099	5,02 ± 0,073	18,57 ± 0,560
8.	пр. Ленина	100	0,048* ± 0,0024	5,87 ± 0,076	4,66 ± 0,051	17,59 ± 0,353
<b>IV — промышленная зона</b>						
9.	Автострада 50 ЛО	90	0,048* ± 0,0025	5,09 ± 0,096	4,06 ± 0,091	13,87 ± 0,664
10.	ул. Кальвица	100	0,046 ± 0,0019	5,4 ± 0,099	4,57 ± 0,060	16,04 ± 0,461
11.	ул. С. Данилова	100	0,053* ± 0,0024	4,73 ± 0,066	4,06 ± 0,060	12,42 ± 0,316

Примечание: n — количество листьев, \* — различие достоверно (при  $p < 0,05$ )

ния и всхожестью семян (рисунок). Для обоих показателей выявлена отрицательная корреляционная связь умеренной и высокой силы с показателем ФА (коэффициент Спирмена  $r_{ЭП} = -0,63$ ,  $r_{ВСХ} = -0,74$ ,  $p < 0,05$ ). Такая согласованность реакций организма на загрязнение среды отмечалась нами и в других работах [12]. В таких показателях, как длина, ширина и площадь листовой пластинки не выявили существенных различий.

**Заключение.** Таким образом, нами отмечено существенное изменение состояния древесных растений на территории г. Якутска по сравнению с рекреационной зоной. В условиях техногенного загрязнения отмечается низкое качество семян и повышенный уровень ФА листа. Низкое качество семян березы выражено в понижении массы,

энергии прорастания и всхожести. Низкие показатели качества семян, возможно, компенсируются увеличением их количества. Из морфологических показателей листовой пластинки наиболее информативным индикаторным показателем влияния экологических условий является показатель флуктуирующей асимметрии листьев. Наиболее резкими нарушениями стабильности развития характеризуются березы, произрастающие в центральной части города, где отмечена наиболее высокая транспортная нагрузка и северная часть города, где располагаются все крупные объекты. Несколько лучше состояние среды в западной и юго-западной части города, вдали от центра и крупных объектов. В рекреационной зоне города его можно оценить как благополучное.

## Библиографический список

1. Маслов Н. В. Градостроительная экология. — М.: Высш. Шк., 2003. — 284 с.
2. Бухарина И. Л., Шарифуллина А. М., Кузьмин П. А. Анализ динамики содержания низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений в листьях древесных растений в урбаносреде // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3 (4). С. 1236—1240.
3. Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Кайгородова С. Ю., Безель В. С., Гордеева В. А. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале // Экология. — 2015. — № 3. С. 163—172.
4. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. — М.: Наука, 1974. — 124 с.
5. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. — Новосибирск: Наука, 1979. — 278 с.
6. Прокопьев И. А., Филиппова Г. В., Шеин А. А., Габышев Д. В. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной // Экология. — 2014. — № 1. С. 22—29.
7. Блашинская О. Н., Забуга Г. А. Исследования флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой урботерритории г. Ангарска // Научный альманах. — 2016. — № 7. С. 43—46.
8. Луцкан Е. Н., Шадрина Е. Г. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Алдана на основе анализа флуктуирующей асимметрии березы плосколистной // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8—2. С. 139—142.
9. Wuytack T., Wuyts K., Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L // Environmental Pollution. — 2011. — Vol. 159. Issue 10. — P. 2405—2411.
10. ГОСТ 13056.6—97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 27 с.
11. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. — 66 с.
12. Солдатова В. Ю., Шадрина Е. Г., Новгородова Д. Н. Биоиндикационная оценка качества среды административных округов г. Якутска по показателям флуктуирующей асимметрии и качества семян березы повислой *Betula pendula* Roth // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 216—224.

## THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT ON THE QUALITY OF SEEDS AND MORPHOLOGICAL INDICATORS OF THE BIRCH LEAF BLADE OF *BETULA PENDULA* ROTH.

**V. Yu. Soldatova**, Ph. D. (Biology), North-Eastern Federal University, 58 Belinsky str, solvik75@mail.ru, Yakutsk, the Republic of Sakha (Yakutia), Russia, 677027,

**A. P. Samsonova**, North-Eastern Federal University, 58 Belinsky str., allgystaana@gmail.com, Yakutsk, the Republic of Sakha (Yakutia), Russia, 677027.

### References

1. Maslov N. V. Gradostroitel'naya ekologiya. [Urban ecology]. Moscow, Vyssh. Shk. 2003. 284 p. [in Russian].
2. Bukharina I. L., Sharifullina A. M., Kuzmin P. A. Analiz dinamiki soderzhaniya nizkomolekulyarnykh i vysokomolekulyarnykh soedinenij v lsityah drevesnykh rastenij v urbanosrede. [The analysis of the dynamics of low molecular weight and high molecular weight compounds in the leaves of woody plants in urbanized environment]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2013. Vol. 15, No. 3 (4). P. 1236—1240. [in Russian].
3. Zhuikova T. V., Meling E. V., Kajgorodova S. Yu., Bezel V. S., Gordeeva V. A. Osobennosti pochv i travyanistykh rastitelnykh soobshestv v usloviyah tehnogeneza na Srednem Urale. [Characteristics of soils and herbaceous plant communities in the conditions of technogenesis in the Middle Urals]. *Ecology*. 2015. No. 3. P. 163—172. [in Russian].
4. Kulagin Yu. Z. Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. [Woody plants and industrial environment]. Moscow, Nauka. 1974. 124 p. [in Russian].
5. Nikolaevskii V. S. Biologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij. [The biological basis of gas resistance of plants]. Novosibirsk, Nauka. 1979. 278 p. [in Russian].
6. Prokopev I. A., Filippova G. V., Shein A. A., Gabyshev D. V. Vliyanie gorodskogo tehnogennoho zagryazneniya na morfologicheskie, biokhimicheskie harakteristiki i semennuyu produktivnost romashki aptechnoj. [The impact of urban anthropogenic pollution on morphological, biochemical characteristics and seed productivity of chamomile]. *Ecology*. 2014. No. 1. P. 22—29. [in Russian].
7. Blashinskaya O. N., Zabuga G. A. Issledovaniya fluktuiruyushej asimmetrii listev berezy povisloj urboterritorii g. Angarska. [Studies of fluctuating asymmetry of birch leaves within the urban territory of Angarsk]. *Nauchnyi almanakh*. 2016. No. 7. P. 43—46. [in Russian].
8. Luckan E. N., Shadrina E. G. Bioindikacionnaya ocenka sostoyaniya okruzhayushej sredy goroda Aldana na osnove analiza fluktuiruyushej asimmetrii berezy ploskolistnoj. [Bioindicative evaluation of the environmental state of the city of Aldan based on the analysis of fluctuating asymmetry of birch planifolia]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij* [International journal of applied and fundamental research]. 2013. No. 8—2. P. 139—142. [in Russian].
9. Wuytack T., Wuyts K., Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159. Issue 10. P. 2405—2411.
10. ГОСТ 13056.6—97. Semena derevev i kustarnikov. Metod opredeleniya vshozhesti. [Seeds of trees and shrubs. Method of determination of germination]. Moscow, ИПК Publishing house of standards, 1998. 27 p. [In Russian].
11. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I., Valeckiy A. V., Kryazheva N. G., Chistyakova E. K., Chubinishvili A. T. Zdorove sredy: metodika ocenki. [Health of the environment: methods of assessment]. Moscow, *Centr ekologicheskoy politiki Rossii*. 2000. 66 p. [in Russian].
12. Soldatova V. Yu., Shadrina E. G., Novgorodova D. N. Bioindikacionnaya ocenka kachestva sredy administrativnyh okrugov g. Yakutsk po pokazatelyam fluktuiruyushej asimmetrii i kachestva semyan beryozy povisloj *Betula pendula* Roth. [Bioindicative evaluation of the quality of the environment administrative districts of Yakutsk on the indicators of fluctuating asymmetry and quality of seeds of birch *Betula pendula* Roth]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Himiya. Biologiya. Ekologiya* [Newsletters of Saratov University. New series. Series Chemistry. Biology. Ecology]. 2018. Vol. 18. No. 2. P. 216—224. [in Russian].

## ОЦЕНКА ФОНОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАЙМЫРСКОГО РАЙОНА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

**Т. И. Хоменушко**, аспирант кафедры экологии и биофизики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета, начальник лаборатории, Общество с ограниченной ответственностью «Центр научно-исследовательских и производственных работ» (ООО «ЦНИПР»), [homenushko@yandex.ru](mailto:homenushko@yandex.ru), Когалым, Россия,  
**С. Н. Русак**, д. биол. н., доцент, профессор кафедры экологии и биофизики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета, [Svetlana\\_01.59@mail.ru](mailto:Svetlana_01.59@mail.ru), Сургут, Россия,  
**М. И. Куриленко**, аспирант кафедры экологии и биофизики Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета, инженер по охране окружающей среды (эколог), открытое акционерное общество «СургутНИПИнефть», [mini-liku@mail.ru](mailto:mini-liku@mail.ru), Сургут, Россия

Впервые проведены исследования донных отложений 13 водных объектов северо-восточной части Таймырского района Красноярского края. Определялись визуальные и физические характеристики донных отложений (цвет, запах, консистенция, включения). Методом количественного химического анализа определен уровень содержания углеводов, железа общего, свинца, цинка, марганца, никеля, хрома VI, меди. Определение нефтепродуктов в пробах донных отложений осуществлялось спектрофотометрическим методом, тяжелые металлы исследовались атомно-эмиссионным методом. Кроме этого, осуществлялась интегральная оценка токсичности методом биотестирования по выживаемости дафний (*Daphnia magna* Straus). Исследования донных отложений показали, что концентрация нефтепродуктов колеблется в диапазоне значений от 59 до 88 мг/кг. Тяжелые металлы определялись в подвижной и валовой форме. Содержание свинца, никеля, железа, хрома и ртути находятся ниже пределов обнаружения методики. Результаты биотестирования всех исследуемых водоемов показали отсутствие хронического токсического действия. В связи с отсутствием техногенной нагрузки на обследуемом участке полученные данные рекомендуется использовать в качестве фоновых значений. Так как предельно-допустимые концентрации для донных отложений отсутствуют, рекомендуется использовать фоновые концентрации веществ при ведении экологического мониторинга.

For the first time, the studies of bottom sediments of 13 water bodies in the north-eastern part of the Taymyr District of the Krasnoyarsk Territory have been carried out. The visual and physical characteristics of bottom sediments (color, odor, consistency, inclusions) were determined. Quantitative chemical analysis was carried out to determine the content of hydrocarbons, total iron, lead, zinc, manganese, nickel, chromium VI, copper. The identification of petroleum products in the bottom sediment samples was carried out by spectrophotometric method, heavy metals were investigated by atomic emission method. In addition, an integral toxicity assessment was performed by the biotesting method for the survival of daphnia (*Daphnia magna* Straus). The studies of bottom sediments showed that the concentration of oil products varies from 59 to 88 mg/kg. Heavy metals were determined in mobile and gross form. The content of lead, nickel, iron, chromium and mercury were below the detection limits of the procedure. The results of the biotesting of all the studied water bodies showed the absence of a chronic toxic effect. In connection with the absence of anthropogenic load on the surveyed area, the obtained data are recommended to be used as background values. Since there are no maximum allowable concentrations for bottom sediments, it is recommended using background concentrations for environmental monitoring.

**Ключевые слова:** Таймырский район Красноярского края, донные отложения, валовые и подвижные формы тяжелых металлов, биотестирование, фоновые значения.

**Keywords:** the Taymyr District of the Krasnoyarsk Territory, bottom sediments, gross and mobile forms of heavy metals, biotesting, background values.

**Введение.** Донные отложения водных объектов являются интегральным показателем антропогенной нагрузки на окружающую среду. Донные отложения рек и озер являются конечными звеньями природных миграционных водных потоков и подвергаются особенно интенсивному загрязнению. Донные отложения водоемов являются своеобразным индикатором загрязнения, поскольку вещества, выводящиеся из водной массы, накапливаются и концентрируются в отложениях [1].

Участок проведения исследовательских работ расположен в пределах Восточно-Таймырского месторождения на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края в 400 км на северо-восток от станции Хатанга, в географическом отношении находится на северо-востоке Красноярского края (рисунок). Территория участка полностью расположена за полярным кругом. Таймырский район с севера омывается водами Карского моря и моря Лаптевых, поэтому проблемы техногенной нагрузки на природные системы и их экологического состояния выходят за рамки региона и принимают глобальный характер.

Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки исходных компо-

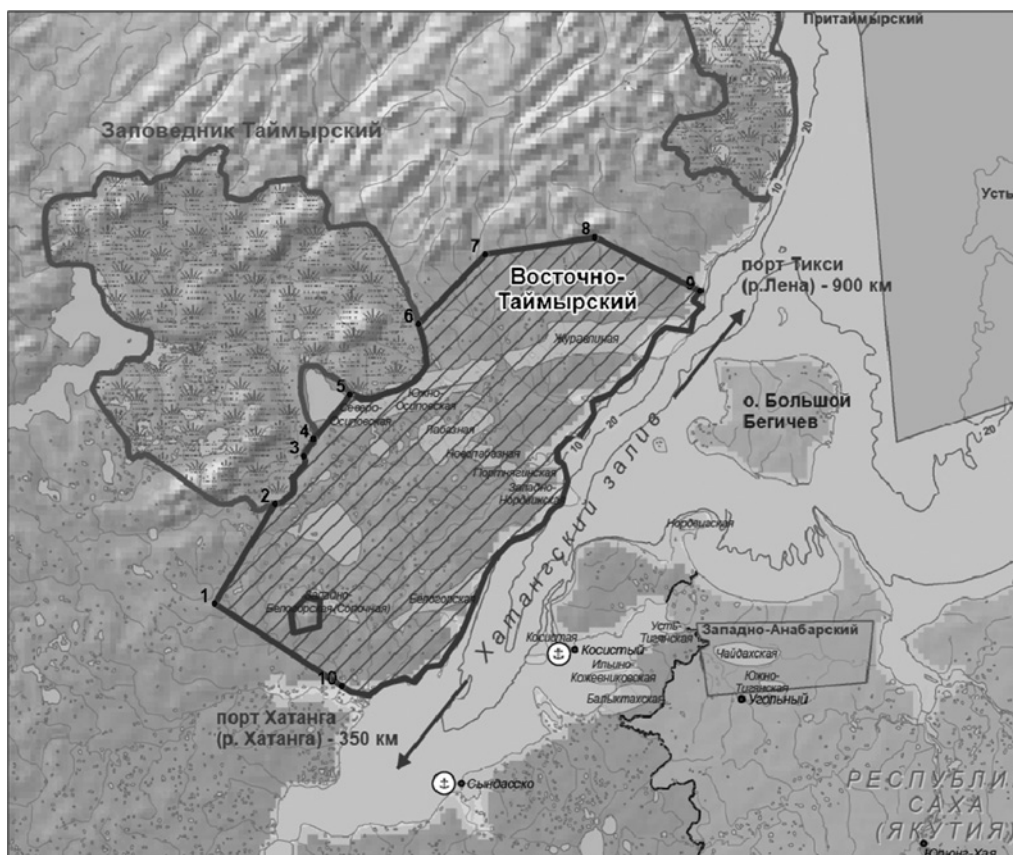


Рис. Схема расположения участка исследования донных отложений

нентов в донных отложениях и использования фоновых значений при ведении экологического мониторинга.

Целью данной работы являлось установление фоновых значений загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов в границах Восточно-Таймырского месторождения.

**Объект и методы исследования.** Исследования по оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях проводились в 2016 г., до начала проведения геологоразведочных работ. Источники техногенного загрязнения на данном этапе отсутствовали, что дало возможность достоверно определить исходное состояние и степень загрязнения водных объектов до начала эксплуатации его недропользователем.

Для общего описания определялись характеристики донных отложений — их визуальные и физические параметры (цвет, запах, консистенция, включения). Для оценки фонового состава химических соединений в донных отложениях проводились исследования по определению уровня содержания суммарных углеводов, железа общего, свинца, цинка, марганца, никеля, хрома VI, меди [2]. Количественный химический анализ проводился в аккредитованной лаборатории экологии и промышленной санитарии Общества с

ограниченной ответственностью «Центр научно-исследовательских и производственных работ», аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511597 от 30.07.2014 г.

Наряду с химическим анализом по определению загрязняющих веществ, проводилась интегральная оценка токсичности методом биотестирования. Биотестирование основано на определении интегральной токсичности, обусловленной совокупностью всех токсических химических веществ и их метаболитов, обнаружении наиболее опасных участков их накопления в донных отложениях. В качестве тест-объектов использовались пресноводные рачки *Daphnia magna Straus*.

Для проведения исследований было выделено 13 водных объектов (табл. 1). Отобранные пробы помещались в тефлоновые герметически закрывающиеся емкости и снабжались идентифицирующей этикеткой [3].

На месте отбора определялись визуальные и физические характеристики донных отложений. Цвет донных отложений варьировал от светлорыжевого в реках до рыжеватого в озерах. Запах определен как «землистый», без акцентов на химические или нефтяные примеси. Консистенция донных отложений зависит от количества воды и определена как «полужидкая». Во всех про-

бах обнаружены незначительные включения из остатков травы и твердых частиц. В ходе визуальных и органолептических наблюдений выявлено, что все отобранные образцы донных отложений имели идентичные физические характеристики.

**Таблица 1**  
**Пункты отбора проб донных отложений**

№ пункта отбора	Описание точки	Координаты точки наблюдения					
		с. ш.			в. д.		
		град.	мин	сек	град.	мин	сек
1	р. Климовка	74	37	26.76	111	12	18.00
2	р. Апрельевка	74	54	46.08	110	5	38.40
3	оз. Нордвик	74	40	28.20	109	48	14.40
4	р. Журавлева	74	40	46.92	110	47	24.00
5	р. Мал. Подкаменная	74	50	2.04	109	5	42.00
6	р. Подкаменная	74	38	45.96	109	26	9.60
7	оз. Хутуда-Турку	74	37	52.32	108	41	16.80
8	озеро без названия	74	56	16.04	110	35	13.20
9	р. Хозяйская	74	14	47.04	109	54	7.20
10	оз. Кунгасалах	74	30	0.36	107	27	21.60
11	ручей без названия	74	2	25.80	109	5	31.20
12	оз. Портнягино	74	14	49.20	107	13	1.20
13	оз. Сопочное	73	59	13.20	106	51	39.60

**Таблица 2**  
**Уровень содержания нефтепродуктов (мг/кг) в донных отложениях водных объектов территории северо-восточной части Таймырского района Красноярского края**

№ пункта отбора	Описание точки	Нефтепродукты, мг/кг	
		Концентрация	Характеристика погрешности $P = 0,95$
1	р. Климовка	69	±17
2	р. Апрельевка	88	±22
3	оз. Нордвик	59	±15
4	р. Журавлева	62	±16
5	р. Мал. Подкаменная	79	±20
6	р. Подкаменная	63	±16
7	оз. Хутуда-Турку	79	±20
8	озеро без названия	64	±16
9	р. Хозяйская	66	±17
10	оз. Кунгасалах	65	±16
11	ручей без названия	64	±16
12	оз. Портнягино	71	±18
13	оз. Сопочное	62	±16

Определение нефтепродуктов в пробах донных отложений осуществлялось спектрофотометрическим методом на концентратометре КН-2. Результаты исследований определения нефтепродуктов представлены в табл. 2.

Концентрация нефтепродуктов в донных отложениях колеблется в интервале значений от 59 до 88 мг/кг. При дальнейшем осуществлении экологического мониторинга на рассматриваемой территории данные результаты можно принять как фоновые значения концентрации нефтяных углеводородов.

Определение тяжелых металлов проводилось атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре ОПТИМА-5000 (табл. 3).

Общая оценка качества донных отложений проводилась по валовому содержанию тяжелых металлов, а доступность элементов для растений определялась содержанием подвижных форм.

**Результаты и их обсуждение.** Валовые формы соединений тяжелых металлов являются фактором емкости, отражающим потенциальную опасность для экосистемы водного объекта [4]; они характеризуют общую загрязненность донных отложений, но не отражают степени доступности элементов для растений. Результаты исследований подвижных и валовых форм тяжелых металлов представлены в табл. 2. Во всех анализируемых пробах донных отложений концентрации свинца, никеля в подвижной и валовой формах, железа и хрома в подвижных формах, а также ртути находились ниже пределов обнаружения методики.

Содержание железа в валовой форме изменялось в интервале значений от 1014 до 1284 мг/кг в проточных водоемах, от 1129 до 1273 мг/кг — в озерах; содержание подвижной формы цинка варьировало в диапазоне от 12 до 35 мг/кг, при этом максимальные значения наблюдались в р. Апрельевка, оз. Нордвик и оз. Хутуда-Турку. Показатели содержания валовой формы цинка находились ниже пределов обнаружения методики для всех пунктов наблюдения, кроме р. Подкаменная, Хозяйская и оз. Кунгасалах.

Характерно, что в отобранных пробах донных отложений вариабельность значений в диапазоне содержания марганца, хрома и меди имела незначительный размах. В связи с отсутствием нормативов содержания предельно-допустимых значений тяжелых металлов и нефтепродуктов для донных отложений проводилось биотестирование вытяжек с целью комплексной оценки их загрязнения. Биотестирование позволяет определить реальную токсичность донных отложений и

**Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в донных отложениях водных объектов территории северо-восточной части Таймырского района Красноярского края**

Номер пункта отбора проб	Описание точки	Железо		Свинец		Цинк		Марганец		Никель		Хром VI		Медь		Ртуть
		подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	валовая форма
1	р. Климовка	<1000	1014	<3	<20	21	<55	53	86	<2	<35	<2	16	1,7	19	<0,005
2	р. Апрельевка	<1000	1284	<3	<20	35	<55	56	94	<2	<35	<2	14	1,5	12	<0,005
3	оз. Нордвик	<1000	1204	<3	<20	32	<55	42	89	<2	<35	<2	19	2,2	16	<0,005
4	р. Журавлева	<1000	1061	<3	<20	29	<55	<40	86	<2	<35	<2	18	2,4	13	<0,005
5	р. Мал. Подкаменная	<1000	1053	<3	<20	12	<55	44	90	<2	<35	<2	22	2,2	12	<0,005
6	р. Подкаменная	<1000	1026	<3	<20	27	58	49	95	<2	<35	<2	14	2,7	18	<0,005
7	оз. Хутуда-Турку	<1000	1273	<3	<20	35	<55	46	82	<2	<35	<2	21	2,3	20	<0,005
8	озеро без названия	<1000	1176	<3	<20	31	<55	<40	87	<2	<35	<2	19	2,2	15	<0,005
9	р. Хозяйская	<1000	1147	<3	<20	26	62	52	93	<2	<35	<2	20	1,9	18	<0,005
10	оз. Кунгасалах	<1000	1204	<3	<20	17	59	44	88	<2	<35	<2	16	1,6	21	<0,005
11	ручей без названия	<1000	1015	<3	<20	13	<55	<40	93	<2	<35	<2	21	2,3	17	<0,005
12	оз. Портнягино	<1000	1173	<3	<20	29	<55	42	85	<2	<35	<2	15	2,1	14	<0,005
13	оз. Сопочное	<1000	1129	<3	<20	16	<55	40	83	<2	<35	<2	17	1,7	17	<0,005

состояние водных объектов, обусловленные совокупностью всех присутствующих в пробе химических веществ и метаболитов [5]. Оценку токсичности пробы проводили, используя результаты регистрации острого токсического действия с учетом закономерностей реагирования, особенностей жизнедеятельности использованных тест-объектов. Биотестирование донных отложений проводилось в водной вытяжке с применением дафний (*Daphnia magna* Straus) [6]. Общая оценка токсичности производится исходя из следующего принципа: если для одного из биотестов проба донных отложений оказывает токсическое действие, ее признают токсичной.

Результаты биотестирования по показателю выживаемости тест-объекта в пробах донных отложений всех исследуемых водоемов показали отсутствие хронического токсического действия. Полученные данные по биотестированию образцов позволяют сделать вывод, что экологическое состояние исследуемых водных объектов по донным отложениям оценивается как удовлетворительное. Показатели уровня содержания нефтепродуктов и соединений тяжелых металлов можно принять в качестве фоновых значений при проведении дальнейших наблюдений.

**Заключение.** Традиционный подход в оценке состояния и качества водных объектов основан на сравнении фактического содержания опреде-

ленных химических ингредиентов в сопоставлении с нормативными критериями — предельно-допустимыми концентрациями таких веществ, устанавливающих границы пригодности водных объектов для определенных целей водопользования, однако не все компоненты водных экосистем регламентированы такими нормативами, например, донные отложения. В нашем случае оценка состояния донных отложений водных объектов проведена на основании данных о содержании нефтяных углеводородов и тяжелых металлов, а также результатов биотестирования по выживаемости дафний (*Daphnia magna* Straus). Оба эти подхода дополняют друг друга, в связи с этим, сочетание химико-токсикологического анализа донных отложений для оценки водных объектов более эффективно.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что содержание нефтепродуктов и соединений тяжелых металлов в поверхностных водоемах исследуемого участка определяется, главным образом, природными факторами. В связи с отсутствием промышленных объектов прямое антропогенное воздействие на поверхностные воды отсутствует, а полученные результаты можно принять за фоновые концентрации [7], которые рекомендуется использовать при ведении дальнейших экологических наблюдений за состоянием водных объектов.

## Библиографический список

1. О фоновом состоянии окружающей среды в границах Восточно-Таймырского лицензионного участка: Отчет о НИР / ООО «ЦНИПР». Руководитель Хоменушко Т. И., 2016. 126 с.
2. РД 52.24.609—2013. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. Росгидромет. — Ростов-на-Дону, ФГБУ «ГХИ», 2013 г.
3. ГОСТ 17.1.5.01—80. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М., ИПК «Издательство стандартов». 2002. 7 с.
4. Курилов П. И., Федотов П. С., Круглякова Р. П., Шевцова Н. Т. Формы нахождения тяжелых металлов в донных отложениях Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 9. С. 58—62. URL: [http:// elibrary.ru/contents.asp?issueid=438697/](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=438697/) (дата обращения: 04.04.2018 г.).
5. Бакаева Е. Н., Никаноров А. М., Игнатова Н. А. Место биотестовых исследований донных отложений в мониторинге водных объектов // Вестник южного научного центра РАН. 2009. Т. 5, № 2. С. 84—93.
6. ПНД Ф Т 14.1:2.4.12—06. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna Straus*). М., 2011. 30 с.
7. Хоменушко Т. И., Куриленко М. И., Русак С. Н. Экологическая оценка фоновых концентраций загрязняющих веществ водных объектов северо-восточной части Таймырского района Красноярского края // Сб. мат. III Всеросс. науч.-практ. конф. «Север России: стратегии и перспективы». Surgut. 2017. Т. II. С. 275—279.

---

## ESTIMATION OF BACKGROUND CONTAMINATION OF THE WATER BODIES' BOTTOM SEDIMENTS IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE TAYMYR DISTRICT OF THE KRASNOYARSK REGION

**T. I. Khomenushko**, postgraduate student, Department of Ecology and Biophysics, Institute of Natural and Technical Sciences Surgut State University, Head of Laboratory, limited liability company "Center for Scientific-Research and Industrial Works" (LLC "CNIP"), [homenushko@yandex.ru](mailto:homenushko@yandex.ru), Kogalym, Russia,

**S. N. Rusak**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Associate Professor, Professor of the Department of Ecology and Biophysics of the Institute of Natural and Technical Sciences, Budget Institution of Higher Education of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra Surgut State University (Sursu), [Svetlana\\_01.59@mail.ru](mailto:Svetlana_01.59@mail.ru), Surgut, Russia,

**M. I. Kurilenko**, postgraduate student of the Department of Ecology and Biophysics of the Institute of Natural and Technical Sciences of Surgut State University, Environmental Engineer (Ecologist), Open Joint Stock Company "SurgutNIPIneft", [mini-liky@mail.ru](mailto:mini-liky@mail.ru), Surgut, Russia

## References

1. O fonovom sostoyanii okruzhayushchej sredy v granichah Vostochno-Tajmyrskogo licenzionnogo uchastka: Otchet o NIR. ООО "CNIPR". Rukovoditel Homenushko T. I. [On the background state of the environment within the boundaries of the East Taymyr license area: research report]. 2016. 126 p. (in Russian)
2. RD 52.24.609—2013. Organizaciya i provedenie nablyudenij za sodержaniem zagryaznyayushchih veshchestv v donnyh otlozheniyah vodnyh obektov. Rosgidromet. — Rostov-na-Donu, FGBU "GHI", 2013. [The organization and carrying out observations of the content of pollutants in ground deposits of water objects. Roshydromet. — Rostov-on-Don, FGBU "GHI", 2013.] (in Russian)
3. GOST 17.1.5.01—80. Oхрана природы (SSOP). Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnyh otlozhenij vodnyh ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost. M., — IPK Izdatel'stvo standartov. 2002. 7 s. [Conservation (SSOP). Hydrosphere. The general requirements to sampling of ground deposits of water objects for the analysis on impurity. M., IPK "Standards Publishing House". 2002. 7 p.] (in Russian)
4. Kurilov P. I., Fedotov P. S., Kruglyakova R. P., Shevtsova N. T. Formy nahozhdeniya tyazhelyh metallov v donnyh otlozheniyah Azovskogo moray / *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. [Forms of finding heavy metals in the bottom sediments of the Azov Sea. *Environmental Protection in the oil and gas complex*]. 2007. No. 9. P. 58—62, available at: [http:// elibrary.ru/contents.asp?issueid=438697/](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=438697/), data of access 12.12.2018. (in Russian)
5. Bakaeva E. N., Nikanorov A. M., Ignatova N. A. Mesto biotestovyh issledovanij donnyh otlozhenij v monitoringe vodnyh obektov // *Vestnik yuzhnogo nauchnogo centra RAN*. [Place of biotest studies of bottom sediments in monitoring of water bodies. *Bulletin of the southern scientific center of RAS*]. 2009. Vol. 5. No. 2. P. 84—93. (in Russian)
6. ПНД Ф Т 14.1:2.4.12—06. Metodika opredeleniia ostroi toksichnosti pitevykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov po smertnosti dafnii (*Daphnia magna Straus*) [MON F T 14.1:2.4.12—06. The method of determining the acute toxicity of potable, fresh water and sewage, water extracts from soils, sewage sludge and waste on the mortality of *Daphnia (Daphnia magna Straus)*]. Moscow. 2011. 30 p.
7. Khomenushko T. I., Kurilenko M. I., Rusak S. N. Ehkologicheskaya ocenka fonovykh koncentracij zagryaznyayushchih veshchestv vodnyh obektov severo-vostochnoj chasti Tajmyrskogo rajona Krasnoyarskogo kraja // *Sb. mat. III Vseross.nauch.-prakt. konf. "Sever Rossii: strategii i perspektivy"*. [Ecological evaluation of background concentrations of pollutants of water bodies of the North-Eastern part of the Taymyr District of the Krasnoyarsk Region. *Collected papers of the Third all-Russian scientific practical conference "North of Russia: strategies and prospects"*]. Surgut. SurGU. 2017. Vol. II. P. 275—279. (in Russian)

## РОЛЬ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* В СОХРАНЕНИИ ОСТАНКОВ МАМОНТОВОЙ ФАУНЫ В МНОГОЛЕТНИХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Н. П. Тарабукина, д. в. н., профессор,  
ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства»  
им. М. Г. Сафронова,  
М. П. Неустроев, д. в. н., профессор,  
ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства»  
им. М. Г. Сафронова,  
ФГБОУ ВО «Якутская государственная  
сельскохозяйственная академия»  
М. П. Скрябина, к. в. н.,  
А. М. Степанова, к. в. н.,  
С. И. Парникова, к. в. н.,  
А. А. Былгаева, к. в. н.,  
ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства»  
им. М. Г. Сафронова,  
М. М. Неустроев, к. б. н.,  
ГБУ «Республиканский информационный  
аналитический центр экологического  
мониторинга»,  
Якутск, Россия, hotubact@mail.ru

При микробиологическом исследовании мягких тканей Махсунуохского, Юкагирского, Малоляховского мамонтов, Оймяконского и Хромского мамонты, Колымского шерстистого носорога, мамонта-подростка Юки, Юкагирской лошади и бизона, также Омолойского лосенка изолировано 64 штамма микроорганизмов, из них 42 штамма представлены бактериями рода *Bacillus*. По биохимическим и физиологическим свойствам идентифицировано 9 видов штаммов бактерий рода *Bacillus*: *B. megatherium*, *B. subtilis*, *B. alvei*, *B. brevis*, *B. popillae*, *B. steurothermophilus*, *B. circulans*, *B. laterosporus*. Все штаммы не патогенные для лабораторных животных. Все штаммы бактерий рода *Bacillus*, изолированные из представителей мамонтовой фауны, имеют выраженную антагонистическую активность по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам: *Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella*, *Yersinia*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Micobacterium*, *Leptospirosis* и токсигенным грибам — *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fuzarium*, а также *Botrytis Cinera* и *Candida*. Также установлено, что штаммы обладают различной степенью антибиотикоустойчивости. Бактерии рода *Bacillus*, изолированные из представителей мамонтовой фауны, выделяют сильные бактериоцины, останавливающие рост и развитие микроорганизмов, в том числе гнилостных. Результаты многолетних исследований позволили заключить, что именно бактерии рода *Bacillus*, обладающие выраженной антагонистической и ферментативной активностью, играют огромную роль при сохранении останков представителей мамонтовой фауны в мерзлых грунтах.

**Введение.** Особое место в исследованиях представителей мамонтовой фауны отведено микроорганизмам. Интерес к психрофильным микроорганизмам обусловлен их фундаментальной и практической значимостью, поиском активных на холоде ферментных систем, их структурных механизмов при работе в зоне низких температур [1]. Микробиологические исследования ископаемых животных, сохранившихся в многолетней мерзлоте, представляют несомненный интерес для науки. Наши исследования начаты с 2003 г., и в ноябре 2004 г. впервые доложены результаты о выделении штаммов бактерий рода *Bacillus* плейстоценового возраста из тканей мамонтов, которые обладают выраженными биологически активными свойствами [2–4]. Впоследствии о выделении бактерий рода *Bacillus* из микробиоты представителей мамонтовой фауны подтверждены сообщениями других исследователей [5]. Чрезвычайно высокие адаптивные возможности бактерий рода *Bacillus* обеспечивают им существование и доминирование в экстремальных условиях Севера [6]. Изучение микробиоты представителей мамонтовой фауны актуально с точки зрения направлений современной микробиологии и биотехнологии: психрофилии, криоанабиоза, особенности экологии и эволюции микроорганизмов.

**Методы.** В работе использованы методы классической микробиологии (биохимические методы идентификации, исследования антагонистической активности микроорганизмов, антибиотикоустойчивости, факторов патогенности), а также методы генетической идентификации микроорганизмов. Применены оригинальные микробиологические методики приготовления препаратов для сканирующей электронной микроскопии. Исследован биологический материал (БМ) — кусочки кожи, мышц, шерсти, содержимое желудка, кишечника, а также кровь ископаемых жи-

Microbiological examination of soft tissues of the Mahsunuokh, Yukagir, Malolyahovsky mammoths, the Oymyakon and Khromsky mammoths, the Kolyma woolly rhinoceros, the Yukka adolescent mammoth, the Yukagir horse and bison, also the Omoloyi elk calf, 64 microorganisms strains were isolated, of which 42 strains were represented by bacteria of the genus *Bacillus*. By biochemical and physiological properties, 9 species of bacterial strains of the genus *Bacillus* were identified: *B. megatherium*, *B. subtilis*, *B. alvei*, *B. brevis*, *B. popillae*, *B. steurothermophilus*, *B. circulans*, *B. laterosporus*. All strains are not pathogenic for laboratory animals. All strains of bacteria of the genus *Bacillus*, isolated from the representatives of the mammoth fauna, have a pronounced antagonistic activity in relation to the pathogenic microorganisms and opportunistic pathogens: *Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella*, *Yersinia*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Micobacterium*, *Leptopiros* and toxigenic fungi — *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fuzarium*, as well as *Botrytis Cinea* and *Candida*. It was also found that the strains possess different degrees of antibiotic resistance. The bacteria of the genus *Bacillus*, isolated from the representatives of the mammoth fauna, secrete strong bacteriocins, stopping the growth and development of microorganisms, including putrefactive ones. The results of many years of research have allowed us to conclude that it is bacteria of the genus *Bacillus*, which have a pronounced antagonistic and enzymatic activity, that play a huge role in preserving the remains of representatives of the mammoth fauna in the permafrost soils.

**Ключевые слова:** *Bacillus subtilis*, мамонтовая фауна, ископаемые животные, мерзлые грунты, палеомикробиота.

**Keywords:** *Bacillus subtilis*, mammoth fauna, fossil animals, the permafrost soils, paleomicrobiota.

вотных (Махсунухского, Юкагирского, Малоляховского мамонтов, Оймяконского и Хромского мамонты, молодого мамонта Юки, Юкагирского бизона и лошади, Колымского шерстистого носорога, Омолойского лосенка).

**Результаты и обсуждения.** При микробиологическом исследовании мягких тканей вышеуказанных ископаемых животных изолировано 64 штамма микроорганизмов, из них 42 представлены бактериями рода *Bacillus*.

За 10 лет исследований по биохимическим и физиологическим свойствам идентифицировано 9 видов штаммов бактерий рода *Bacillus*: *B. megatherium*, *B. subtilis*, *B. alvei*, *B. brevis*, *B. popillae*, *B. steurothermophilus*, *B. circulans*, *B. laterosporus* (таблица). Штаммы бактерий рода *Bacillus*, изолированные из палеомикробиоты, имеют выраженную антагонистическую активность по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Бактерии рода *Bacillus*, изолированные из представителей мамонтовой фауны, выделяют сильные бактериоцины, останавливающие рост и развитие микроорганизмов, в том числе гнилостных. По мнению ведущих ученых палеонтологов, «непременным требованием хранения тканей ископаемых животных в криогенных условиях является их тщательное предохранение от проникновения современных микробов». Для сохранения трупов ископаемых животных применяли формалин [7].

Результаты многолетних исследований позволили заключить, что именно бактерии рода *Bacillus*, обладающие выраженной антагонистической и ферментативной активностью, игра-

#### Виды штаммов бактерий рода *Bacillus*, изолированные из представителей мамонтовой фауны

№	Вид штамма	Объект исследования	Год исследования
1	<i>B. megatherium</i>	Юкагирский мамонт Хромский мамонтенок Юка (мамонт-подросток) Малоляховский мамонт -2 Омолойский лосенок	2004 г. 2010 г. 2012 г. 2014 г. 2014 г.
2	<i>B. alvei</i>	Махсунухский мамонт Юкагирский мамонт Колымский шерстистый носорог Хромский мамонтенок	2003 г. 2004 г. 2008 г. 2010 г.
3	<i>B. laterosporus</i>	Юка (мамонт-подросток) Юкагирский бизон-2 Малоляховский мамонт	2012 г. 2012 г. 2014 г.
4	<i>B. pumilus</i>	Оймяконский мамонтенок-3 Хромский мамонтенок Колымский шерстистый носорог-2	2006 г. 2010 г. 2008 г.
5	<i>B. brevis</i>	Махсунухский мамонт Юкагирский мамонт Оймяконский мамонтенок-2 Колымский шерстистый носорог Хромский мамонтенок	2003 г. 2004 г. 2006 г. 2008 г. 2010 г.
6	<i>B. popillae</i>	Колымский шерстистый носорог	2008 г.
7	<i>B. subtilis</i>	Оймяконский мамонтенок Колымский шерстистый носорог-2 Юкагирский бизон	2006 г. 2008 г. 2012 г.
8	<i>B. circulans</i>	Малоляховский мамонт	2014 г.
9	<i>B. steurothermophilus</i>	Омолойский лосенок	2014 г.

ют огромную роль при сохранении останков представителей мамонтовой фауны в многолетних мерзлых грунтах [8—10]. Таким образом, для сохранности органов, тканей ископаемых животных возможно применение биопрепаратов из штаммов бактерий *B. subtilis*, выделенных из палеомикрофлоры в сочетании с низкими температурами.

**Заключение.** Результаты проведенных исследований и опыт разработки биопрепаратов позволяют предложить комплексные, междисциплинарные научные исследования по разработке технологии изготовления и применения микробных препаратов на основе штаммов бактерий *Bacillus subtilis* для сохранения органов тканей ископаемых животных в музеях и хранилищах.

### Библиографический список

1. Лазарев П. А. История находки Юкагирского мамонта / П. А. Лазарев, Г. Г. Боескоров, А. Н. Тихонов и др. // Юкагирский мамонт: монография / под ред. Г. Г. Боескорова, А. Н. Тихонова, И. Сузуки. — СПб., 2007. — С. 17—22.
2. Tarabukina N., Neustroev M., Parnikova S., Fedorova M., Baishev A. Microbiological Investigation of the Yukagir Mammoth. In Proceeding of International Scientific Practical Conference, Yakutsk (17—19 November. 2004). 2004. P. 29.
3. Tarabukina N., Neustroev M. P., Smirnov A. M., Pavlova I. B., Parnikova S. I., Bannikova D. A., Fedorova M. P. Research of Bacteria of Genus Bacillus Allocated from the Yukagir Mammoth. Procudings of international symposium on Yukagir Mammoth (Nagakute, Japan). 2005. P. 19.
4. Tarabukina N., Neustroev M., Parnikova S., Fedorova M., Bylgaeva A. The Antagonistic Properties of Strains of the Bacteria Bacillus, Recovered from the Yukagir Mammoth. The Yukagir Mammoth. 2007. P. 204—208.
5. Sofronova O., Kasyan I., Kazakova E., Chernyanvsky V., Boeskorov G., Lazarev P., Nikiforov O. Isolation of Culture of a microbe of a Bacillus Species from the Trunk of the Oymyakon Mammoth Baby. J. Quaternaire. 2010. No. 3. P. 58—59.
6. Иванова Т. И. Микробиологическая характеристика мерзлых почв острова Тит-Ары (Якутия) / Т. И. Иванова, Н. П. Кузьмина, А. П. Исаев // Сибирский экологический журнал. — 2012. — № 6. — С. 831—840.
7. Лазарев П. А., Боескоров Г. Г., Тихонов А. Н., Савинов Д. Д. Условия хранения останков с мягкими тканями Юкагирского мамонтенка и других вымерших животных в криогенных условиях // В кн.: Юкагирский мамонт. Ред. Г. Г. Боескоров, А. Н. Тихонов, Н. Сузуки. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. — С. 215—218.
8. Neustroev M. P., Fedorova M. P., Parnikova S. I., Neustroev M. M. Yakutiya zoolite microflora // J. Quaternaire. 2010, No. 3. P. 59—60.
9. Neustroev M. P., Tarabukina N. P., Neustroev M. M., Fedorova M. P., Stepanova A. M., Parnikova S. I., Baishev A. A. Microflora of Fossil Animals preserved in Yakut Permafrost. J. of Earth Science and Engineering. 2014. Vol. 4. No. 8. P. 484—489.
10. Tarabukina N. P., Neustroev M. P., Scryabina M. P., Stepanova A. M., Parnikova S. I., Neustroev M. M., Boeskorov G. G., Pavlova I. B. The role of bacteria of the genus Bacillus in preserving the remains of Mammoth fauna in perennial frozen soils. VII International Conference of Mammoths and Their Relatives (17—23 September 2017. Tachung, Taiwan). P. 72.

## THE ROLE OF BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS* IN THE PRESERVATION OF THE REMAINS OF THE MAMMOTH FAUNA IN PERENNIAL FROZEN SOILS

**N. P. Tarabukina**, Ph. D. (Veterinary), Dr. Habil, professor, Federal State Budgetary Institution "Yakut Research Institute Agriculture" them. M. G. Safronov;

**M. P. Neustroev**, Ph. D. (Veterinary), Dr. Habil, professor, Federal State Budgetary Institution "Yakut Research Institute Agriculture" them. M. G. Safronov, Federal State Educational institution "Yakut State Agricultural Academy";

**M. P. Scryabina**, Ph. D. (Veterinary),

**A. M. Stepanova**, Ph. D. (Veterinary),

**S. I. Parnikova**, Ph. D. (Veterinary),

**A. A. Bylgayeva**, Ph. D. (Veterinary), Federal State Budgetary Institution "Yakut Research Institute Agriculture" them. M. G. Safronov;

**M. M. Neustroev**, Ph. D. (Biology), Federal State Budgetary Institution "Yakut Research Institute Agriculture" them. M. G. Safronov. Yakutsk, Russia, hotubact@mail.ru

### References

1. Lazarev P. A. History of the discovery of the Yukagir mammoth / P. A. Lazarev, G. G. Boeskorov, A. N. Tikhonov et al. Yukagir mammoth. 2007. P. 17—22. [in Russian]
2. Tarabukina N., Neustroev M., Parnikova S., Fedorova M., Baishev A. Microbiological Investigation of the Yukagir Mammoth. In Proceeding of International Scientific Practical Conference, Yakutsk (17—19 November. 2004). 2004. P. 29.
3. Tarabukina N., Neustroev M. P., Smirnov A. M., Pavlova I. B., Parnikova S. I., Bannikova D. A., Fedorova M. P. Research of Bacteria of Genus Bacillus Allocated from the Yukagir Mammoth. Procudings of international symposium on Yukagir Mammoth (Nagakute, Japan). 2005. P. 19.
4. Tarabukina N., Neustroev M., Parnikova S., Fedorova M., Bylgaeva A. The Antagonistic Properties of Strains of the Bacteria Bacillus, Recovered from the Yukagir Mammoth. The Yukagir Mammoth. 2007. P. 204—208.
5. Sofronova O., Kasyan I., Kazakova E., Chernyanvsky V., Boeskorov G., Lazarev P., Nikiforov O. Isolation of Culture of a microbe of a Bacillus Species from the Trunk of the Oymyakon Mammoth Baby. J. Quaternaire. 2010. No. 3. P. 58—59.
6. Ivanova T. I. Microbiological characteristic of the permafrost on the island of Tit-Ary (Yakutia). *Siberian Journal of Ecology*. 2012. No. 6. P. 831—840. [in Russian]
7. Lazarev P. A., Boeskorov G. G., Tikhonov A. N., Savinov D. D. The storage conditions of the remains with soft tissues of the Yukagir mammoth and other extinct animals in cryogenic conditions. Yukagir mammoth. 2007. P. 215—218. [in Russian]
8. Neustroev M. P., Fedorova M. P., Parnikova S. I., Neustroev M. M. Yakutiya zoolite microflora // J. Quaternaire. 2010, No. 3. P. 59—60.
9. Neustroev M. P., Tarabukina N. P., Neustroev M. M., Fedorova M. P., Stepanova A. M., Parnikova S. I., Baishev A. A. Microflora of Fossil Animals preserved in Yakut Permafrost. J. of Earth Science and Engineering. 2014. Vol. 4. No. 8. P. 484—489.
10. Tarabukina N. P., Neustroev M. P., Scryabina M. P., Stepanova A. M., Parnikova S. I., Neustroev M. M., Boeskorov G. G., Pavlova I. B. The role of bacteria of the genus Bacillus in preserving the remains of Mammoth fauna in perennial frozen soils. VII International Conference of Mammoths and Their Relatives (17—23 September 2017. Tachung, Taiwan). P. 72.

## СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТУРНА *LATIFOLIA* L. В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**М. Г. Малева**, кандидат биологических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, [maria.maleva@urfu.ru](mailto:maria.maleva@urfu.ru), Екатеринбург, Россия,

**Н. В. Чукина**, кандидат биологических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, [nadezhda.chukina@urfu.ru](mailto:nadezhda.chukina@urfu.ru), Екатеринбург, Россия,

**Г. Г. Борисова**, доктор географических наук, старший научный сотрудник, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, [G.G.Borisova@urfu.ru](mailto:G.G.Borisova@urfu.ru), Екатеринбург, Россия,

**О. С. Синенко**, ассистент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, [olga.sinenko@urfu.ru](mailto:olga.sinenko@urfu.ru), Екатеринбург, Россия,

**Г. И. Ширяев**, магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, [schiriaev.grisha@yandex.ru](mailto:schiriaev.grisha@yandex.ru)

Представлены данные о структурно-функциональных изменениях фотосинтетического аппарата *Typha latifolia* L. (рогоз широколистный, семейство Typhaceae) в зоне деятельности Карабашского медеплавильного комбината (КМК, г. Карабаш, Челябинская область). В качестве фонового участка использовали прибрежную зону озера Иртыш (Челябинская область, 55 км от КМК). Рассчитан суммарный индекс токсической нагрузки как интегральный показатель загрязнения воды и седиментов по 9 металлам (Cd, Pb, Ni, Cu, Fe, Hg, Co, Zn, Mn). В импактном участке у *T. latifolia* увеличивалась толщина листа, преимущественно за счет возрастания толщины эпидермиса и доли аэренхимы. Уменьшение количества клеток мезофилла сопровождалось увеличением их объема, в то время как изменения параметров хлоропластов были недостоверными. Снижение скорости ассимиляции CO<sub>2</sub> коррелировало с уменьшением содержания фотосинтетических пигментов. При этом существенных изменений в структуре фототрофных тканей листа, а следовательно, проводимости для CO<sub>2</sub>, не было выявлено. Результаты исследования свидетельствуют о достаточно высокой устойчивости *T. latifolia* к длительному техногенному воздействию, вероятно, благодаря компенсаторным структурным перестройкам фотосинтетического аппарата.

The data on the structural-functional changes in the photosynthetic apparatus of *Typha latifolia* L. (Typhaceae family) under the influence of the Karabash copper smelter (KCS, the town of Karabash, the Chelyabinsk Region) are presented. The coastal zone of the lake of Irtyash (the Chelyabinsk Region, 55 km from KCS) was used as a non-contaminated site. In the contaminated site, the thickness of the *T. latifolia* leaf was increased, mainly due to the aerenchyma proportion increase. The decrease in the number of mesophyll cells was accompanied by an increase in their volume, while the changes in the parameters of chloroplasts were unreliable. The decrease in the rate of CO<sub>2</sub> uptake correlated with a decrease in the photosynthetic pigments content. At the same time, no significant changes were observed in the phototrophic tissues structure and consequently in the conductivity of the leaf for CO<sub>2</sub>. The results of this study indicate a high resistance of *T. latifolia* to a prolonged technogenic impact, probably due to compensatory structural changes in the photosynthetic apparatus. The significant increase in the epidermis thickness and the aerenchyma proportion also contribute to the survival of plants under multicomponent contamination.

**Ключевые слова:** геллофит, тяжелые металлы, структура листа, фотосинтетические пигменты, ассимиляция CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** helophyte, heavy metals, leaf structure, photosynthetic pigments, CO<sub>2</sub> uptake.

**Введение.** Мощным источником техногенного загрязнения окружающей среды на протяжении длительного периода времени (более ста лет) является деятельность Карабашского медеплавильного комбината (КМК, г. Карабаш, Челябинская область). Территория, окружающая КМК, объявлена зоной экологического бедствия [1]. Прибрежно-водное растение *Typha latifolia* L. (рогоз широколистный, семейство Typhaceae) — один из немногих видов, способных произрастать в местобитаниях с экстремально высоким уровнем содержания токсичных элементов и низкой величиной pH [2, 3].

Цель работы — исследование структурно-функциональных изменений фотосинтетического аппарата *Typha latifolia* L. под действием выбросов и сбросов медеплавильного комбината для выявления адаптивных реакций растений к экстремальному техногенному воздействию.

**Модели и методы.** Пробы воды, седиментов и растительный материал отбирали в июле 2016 и 2017 гг. из фонового (прибрежная зона оз. Иртыш, 55 км от КМК) и импактного (отстойник сточных вод, 1,6 км от КМК) участков. В качестве интегрального показателя загрязнения использовали суммарный индекс токсичес-

кой нагрузки, рассчитанный по содержанию 9 металлов (Cd, Pb, Ni, Cu, Fe, Hg, Co, Zn, Mn) в воде и седиментах [4].

Количественная оценка структурных характеристик листа выполнена согласно Мокронососу и Борзенковой [5]. Измерения проводили с использованием программы SIAMS MesoPlant (ООО «СИАМС», Россия) и светового микроскопа Meiji MT 4300L («Meiji Techno», Япония). Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически в 80 % ацетоне и рассчитывали согласно Lichtenthaler [6]. Скорость ассимиляции CO<sub>2</sub> измеряли на LI-6400XT («LI-COR», США) при насыщающей интенсивности света 1800 мкМ/(м<sup>2</sup> · с), температуре в камере 23 °С и влажности 50 %.

Содержание пигментов и скорость ассимиляции CO<sub>2</sub> определяли в 4-кратной, а величину мезоструктурных параметров — в 30-кратной повторности. В таблице представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Звездочкой отмечены достоверные различия между фоновым и импактным участками согласно непараметрическому критерию Манна—Уитни при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** В результате длительного техногенного воздействия КМК произошло значительное снижение pH воды (от 6,9 в

фоном до 3,5 в импактном участке) и возрастание электропроводности (в 17 раз). Величина Si импактного участка составила 1077 и 18 относительных единиц для воды и седиментов, соответственно.

Основной функцией растений является фотосинтез. Фотосинтетическая активность листа тесно связана с его структурой [5]. Для *T. latifolia* характерна толстая листовая пластинка и изолатерально-изопалисадный тип строения мезофилла. Ассимиляционная ткань разделена на палисадную и губчатую. Хорошо выражены воздухоносные полости (аэренхима), таблица.

Листья *T. latifolia* характеризуются большим количеством клеток, их меньшими размерами, меньшим числом хлоропластов в клетке и их значительным количеством в единице площади листа, что подтверждается данными других авторов [10]. В импактном участке толщина листовой пластинки у растений была выше на 30 % по сравнению с фоновым за счет достоверного увеличения толщины эпидермиса и аэренхимы (таблица), в то время как толщина мезофилла практически не изменялась. В загрязненном местообитании у *T. latifolia* достоверно уменьшалось количество клеток мезофилла в единице поверхности листа, как палисадного (на 8 %), так и губчатого (на 14 %). При этом их объем существенно возрастал (в среднем на 39 %) по сравнению с фоновым.

Количество и объем хлоропластов у *T. latifolia* из разных местообитаний достоверно не отличались, однако у растений из импактного участка наблюдалась тенденция к увеличению их числа в клетке и уменьшению в расчете на единицу поверхности листа. При этом содержание фотосинтетических пигментов у растений из импактного участка было существенно ниже (в 1,6 раза) по сравнению с фоновым (таблица).

Скорость ассимиляции углекислоты в листьях была достоверно ниже в импактном участке при расчете как на единицу площади (в 3,4 раза), так и на грамм хлорофилла (в 2,3 раза), таблица. Возможно, это связано не только со снижением количества пигментов, но и нарушением работы ключевого фермента фотосинтеза (РБФ-карбоксилазы/оксигеназы) под действием избытка ТМ, поскольку существенных изменений в структуре фототрофных тканей листа не было выявлено.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что снижение скорости ассимиляции CO<sub>2</sub> в листьях *T. latifolia* из импактного местообитания напрямую коррелировало с уменьшением содержания фотосинтетических пигментов. При этом наблюдались структурные перестройки фотосинтетического аппарата листа компенсаторного характера: уменьшение количества клеток мезофилла сопровождалось увеличением их объема.

#### Структурные характеристики тканей листа и скорость ассимиляции CO<sub>2</sub> у *T. latifolia* из фонового и импактного участков

Параметры	Фон	Импакт
Толщина листа, мкм	1950,4 ± 177,0	2541,7 ± 75,1*
Толщина эпидермиса, мкм	35,0 ± 0,7	39,5 ± 1,0*
Доля аэренхимы в листе, %	87,3 ± 1,6	91,8 ± 0,4*
Количество клеток мезофилла, тыс/см <sup>2</sup> :		
палисадный	4472,9 ± 109,7	4120,0 ± 99,5*
губчатый	1091,1 ± 30,5	934,5 ± 33,9*
Объем клетки мезофилла, тыс. мкм <sup>3</sup> :		
палисадный	2,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1*
губчатый	2,6 ± 0,1	3,7 ± 0,2*
Количество хлоропластов в клетке, шт.:		
палисадный	11,0 ± 0,3	12,0 ± 0,3
губчатый	10,0 ± 0,4	11,0 ± 0,4
Количество хлоропластов, 10 <sup>6</sup> /см <sup>2</sup> :		
палисадный	49,8 ± 1,1	48,3 ± 1,3
губчатый	11,3 ± 0,4	10,7 ± 0,4
Объем хлоропласта в клетке мезофилла, мкм <sup>3</sup> :		
палисадный	32,9 ± 3,3	26,3 ± 2,6
губчатый	25,1 ± 2,5	24,7 ± 1,8
Содержание суммы хлорофиллов (a + b), мг/г сухого веса	3,8 ± 0,2	2,4 ± 0,2*
Поглощение CO <sub>2</sub> :		
мкмоль/(м <sup>2</sup> · с)	13,9 ± 1,4	4,1 ± 0,1*
мкмоль/(г хлорофилла · с)	37,8 ± 3,8	16,3 ± 0,6*

К адаптивным перестройкам можно также отнести и существенное увеличение толщины эпидермиса и доли аэренхимы, что способствует выживанию растений в условиях многокомпонентного загрязнения. В целом проведенное исследование свидетельствует о достаточно высокой устойчи-

вости *T. latifolia* к длительному техногенному воздействию.

*Работа поддержана Министерством науки и Высшего образования Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006.*

#### Библиографический список:

1. Yurkevich N. V., Saeva O. P., Karin Y. G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, the Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 2015. Vol. 97, No. 1. P. 76–89.
2. Klink A., Maciola A., Wislockab M., Krawczyk J. Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication. *Limnologica*, 2013. Vol. 43. P. 164–168.
3. Kumari M., Tripathi B. D. Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015. Vol. 112. P. 80–86.
4. Bezel V. S., Zhuikova T. V., Pozolotina V. N. The structure of dandelion cenopopulations and specific features of heavy metal accumulation. *Russian Journal of Ecology*, 1998. Vol. 29, No. 5. P. 331–337.
5. Мокроносков А. Т., Борзенкова Р. А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции ВНИИ растениеводства. — Л., 1978. — Т. 61, No. 3. — С. 119–133.
6. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 1987. Vol. 148. P. 350–382.
7. Lyubenova L., Schröder P. Plants for waste water treatment — Effects of heavy metals on the detoxification system of *Typha latifolia*. *Bioresource Technology*, 2011. Vol. 102. P. 996–1004.
8. Parzych A., Cymer M., Macheta K. Leaves and roots of *Typha latifolia* and *Iris pseudacorus* L. as bioindicators of contamination of bottom sediments by heavy metals. *Limnological Review*, 2016. Vol. 16, No. 2. P. 77–83.
9. Bonanno G., Cirelli G. L. Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. Vol. 143. P. 92–101.
10. Ronzhina D. A., P'yankov V. I. Structure of the photosynthetic apparatus in leaves of freshwater hydrophytes: 1. General characteristics of the leaf mesophyll and a comparison with terrestrial plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2001. Vol. 48, No. 5. P. 567–575.

## STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES OF *TYPHA LATIFOLIA* L. PHOTOSYNTHETIC APPARATUS UNDER TECHNOGENIC POLLUTION

**M. G. Maleva**, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, maria.maleva@mail.ru, Ekaterinburg, Russia,

**N. V. Chukina**, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, nadezhda.chukina@urfu.ru, Ekaterinburg, Russia,

**G. G. Borisova**, Ph. D. (Geography), Dr. Habil, Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, G. G. Borisova@urfu.ru, Ekaterinburg, Russia,

**O. S. Sinenko**, Assistant, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, olga.sinenko@urfu.ru, Ekaterinburg, Russia,

**G. I. Shiryaev**, undergraduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, shiryaev.grisha@yandex.ru, Ekaterinburg, Russia

#### References

1. Yurkevich N. V., Saeva O. P., Karin Y. G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, the Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 2015. Vol. 97, No. 1. P. 76–89.
2. Klink A., Maciola A., Wislockab M., Krawczyk J. Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication. *Limnologica*, 2013. Vol. 43. P. 164–168.
3. Kumari M., Tripathi B. D. Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015. Vol. 112. P. 80–86.
4. Bezel V. S., Zhuikova T. V., Pozolotina V. N. The structure of dandelion cenopopulations and specific features of heavy metal accumulation. *Russian Journal of Ecology*, 1998. Vol. 29, No. 5. P. 331–337.
5. Mokronosov A. T., Borzenkova R. A. Metodika kolichestvennoj ocenki struktury i funkcionalnoj aktivnosti fotosinteziruyushih tkanej i organov. *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii VNII rasteniyevodstva* [The method of quantitative evaluation of the structure and functional activity of photosynthetic tissues and organs. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Selection, All-Russian Research Institute of Plant Industry*]. Leningrad, 1978. Vol. 61, No. 3. P. 119–133 [in Russian].
6. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 1987. Vol. 148. P. 350–382.
7. Lyubenova L., Schröder P. Plants for waste water treatment — Effects of heavy metals on the detoxification system of *Typha latifolia*. *Bioresource Technology*, 2011. Vol. 102. P. 996–1004.
8. Parzych A., Cymer M., Macheta K. Leaves and roots of *Typha latifolia* and *Iris pseudacorus* L. as bioindicators of contamination of bottom sediments by heavy metals. *Limnological Review*, 2016. Vol. 16, No. 2. P. 77–83.
9. Bonanno G., Cirelli G. L. Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. Vol. 143. P. 92–101.
10. Ronzhina D. A., P'yankov V. I. Structure of the photosynthetic apparatus in leaves of freshwater hydrophytes: 1. General characteristics of the leaf mesophyll and a comparison with terrestrial plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2001. Vol. 48, No. 5. P. 567–575.

## ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ЗОЛОТВАЛАХ НИЖНЕТУРИНСКОЙ ГРЭС

**Т. С. Чибрик**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией, *Tatara.Chibrik@urfu.ru*,  
**Н. В. Лукина**, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, *natalia.lukina@urfu.ru*,  
**Е. И. Филимонова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, *Elena.Filimonova@urfu.ru*,  
**М. А. Глазырина**, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, *Margarita.Glazyrina@urfu.ru*,  
**Е. А. Раков**, старший преподаватель, *Evgeniy-rakov@mail.ru*,  
Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Россия

В статье приведены результаты мониторинговых исследований трансформации растительного покрова в течение 35 и 55 лет на двух золоотвалах Нижнетуринской ГРЭС (таежная зона) в зависимости от рекультивационных мероприятий и ландшафтного окружения. Показано, что на золе в антропогенном окружении и при высокой рекреационной нагрузке формирование растительности идет от мелкобурьянистых экотопических группировок к разнотравно-вейниковым и вейниковым фитоценозам. Рекреационная нагрузка задерживает последние древесных видов. Рекультивационные мероприятия санитарно-гигиенического и рекреационного направления (покрытие поверхности слоем глинистого грунта) ускоряют процесс формирования лесных фитоценозов: к 20—25-летнему возрасту формируется мелколиственный лес из раннесукцессионных видов (*Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L. и *Pinus sylvestris* L.). К 30—35-летнему возрасту в древесном ярусе в подрасте появляются позднесукцессионные виды: *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb. В 20—25-летних лесных фитоценозах при сниженной антропогенной нагрузке на золе с покрытием грунтом отмечено появление видов семейства *Orchidaceae* Juss. Полив сточными водами способствовал созданию на золоотвале НТГРЭС устойчивых высокопродуктивных растительных сообществ, трансформировавшихся со временем в вейниковые фитоценозы с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.

During the analysis of geobotanical descriptions conducted for 35 and 55 years in two ash dumps of the Nizhnetourinskaya State District Power Station (NTGRES) in different edaphic conditions (recultivated and non-cultivated territories), it was shown that on the ash in anthropogenic environment and with high recreational load, vegetation formation proceeds from small weeds ecotopic groups to mixed-grass — *Vein* and *Calamagrostis* phytocenosis. Recreational load delays the growth of tree species. Reclamation measures of the sanitary and hygienic and recreational character (covering the surface with a layer of clay soil) accelerate the formation of forest phytocenosis: by the age of 20—25 years, small-leaved forest has been formed from early succession species (*Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L. and *Pinus sylvestris* L.). By the age of 30—35 years in the tree layer, late succession species have appeared as undergrowth: *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb. In 20—25-year-old forest phytocenoses with reduced anthropogenic load on the ash with soil cover, the emergence of species of the *Orchidaceae* Juss family has been recorded.

Watering with sewage contributed to the establishment of stable highly productive plant communities at the ash dumps of the NTGRES, which were transformed over time into reindeer phytocenosis with the dominance of *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.

**Ключевые слова:** золоотвалы, биологическая рекультивация, сукцессии, фитоценозы, формирование растительности.

**Keywords:** ash dumps, biological recultivation, successions, phytocenosis, vegetation formation.

**Введение.** Определение тенденций, направленности и темпов восстановления растительности на нарушенных промышленностью землях в настоящее время необходимо для решения как фундаментальных задач по сохранению биологического разнообразия, так и для решения прикладных задач по рекультивации нарушенных земель [1—3]. Цель статьи — анализ динамики формирования фитоценозов на золоотвалах Нижнетуринской государственной районной электростанции (НТГРЭС) в зависимости от рекультивационных мероприятий и ландшафтного окружения.

**Модели и методы.** Исследования проводились на двух золоотвалах НТГРЭС, расположенной рядом с г. Нижняя Тура Свердловской области (таежная зона). Район исследований расположен в умеренно-континентальной бореальной климатической зоне [4]. Золоотвал № 1 находится в 2 км от НТГРЭС. Ландшафтное окружение — застроенные земли и сельскохозяйственные угодья. Эксплуатация золоотвала была закончена в 1957 г. В 1959 г. на его территории был заложен стационар для разработки способов биологической рекультивации: часть золоотвала была перекрыта слоем грунта (2 см) и оставлена для самозарастания. На участках «чистой» золы были заложены опыты с использованием сточных вод [5, 6]. Золоотвал № 2 (площадь 220 га) западной стороной граничит с городом, южной — с золоотвалом № 1, северная и восточная дамбы примыкают к сельскохозяйственным и лес-

№	Эко-топ	Возраст, лет				
		5	10	20	30	..... 50
Антропогенное окружение + повышенная рекреационная нагрузка						
Золоотвал № 1	Ia	Разнотравная ЭГ*	Злаково-разнотравная ПГ**	Злаково-разнотравные и злаково-разнотравные СГ***	→→→→→→→→ Разнотравно-вейниковый и вейниково-разнотравный Ф****	
	Iб	Мелкобурьянистая СГ	Злаково-бобовый фитоценоз с подростом древесных видов (Ф)		Начальные этапы формирования лесного фитоценоза →→	Смешанный лесной фитоценоз (Ф) с высокой долей синантропных видов
	Iв	Мелкобурьянистая СГ	Умеренное увлажнение + посев →→ Разнотравно-злаковый фитоценоз (Ф)		Разнотравно-злаковый фитоценоз (Ф)	Разнотравно-вейниковый →→→→→ и вейниковый фитоценоз (Ф)
		Избыточное увлажнение →→ Разнотравно-щучковый фитоценоз (Ф)				
Антропогенное окружение + сниженная рекреационная нагрузка						
Золоотвал № 2	II	СГ: бурьянистая со всходами древесных	Ивняка со всходами и подростом деревьев (Ф)		Мелколиственный лесной фитоценоз: заросли древесных со слабо выработанным травяно-кустарничковым ярусом (Ф)	-----

Условные обозначения

\* — ЭГ — экопическая группировка — 0,1 %; \*\* — ПГ — простая группировка — 0,1–5 %; \*\*\* — СГ — сложная группировка — 6–50 %; \*\*\*\* — Ф — фитоценоз — более 50 %. Процент означает проективное покрытие поверхности золоотвала растениями. Ia — зола; Iб — зола + грунт (2 см); Iв — зола + полив сточными водами; II — зола + грунт (30 см)

*Рис. Схема формирования фитоценозов на золоотвалах НТГРЭС в зависимости от экотопа и ландшафтного окружения*

ным угольям. Заполнение золоотвала проводилось с 1957 по 1992 г. После окончания эксплуатации на 3-х его секциях был нанесен слой потенциально-плодородного глинистого грунта мощностью 30 см.

Геоботаническое обследование проводилось по общепринятым методикам [7]. За основной критерий сформированности сообществ принималось общее проективное покрытие (ОПП) растениями [8].

**Результаты и обсуждение.** В ходе анализа геоботанических описаний, проведенных в течение 35 и 55 лет на золоотвалах НТГРЭС в разных эдафических условиях (рекультивированные и не-рекультивированные территории), было показано, что на золе в антропогенном окружении и при высокой рекреационной нагрузке (экотоп Ia) формирование растительности идет от мелкобурьянистых экопических группировок к разнотравно-вейниковым и вейниковым фитоценозам с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. [9, 10]. Рекреационная нагрузка задерживает поселение древесных видов (рисунок).

Рекультивационные мероприятия санитарно-гигиенического и рекреационного направления (покрытие поверхности слоем глинистого грунта) ускоряют процесс формирования лесных фитоценозов (экотопы Iб и II): к 20–25-летнему возрасту формируется мелколиственный лес из раннесукцессионных видов (*Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L. и *Pinus sylvestris* L.). Антропогенное окружение (экотоп Iб) сказывается на составе травянистого яруса: в нем наряду с лесными видами высокое обилие имеют сорно-рудеральные и лугово-сорные виды (*Artemisia vul-*

*garis* L., *Plantago major* L., *Sonchus arvensis* L. и др.). При сниженной антропогенной нагрузке (экотоп II) к 30–35-летнему возрасту в древесном ярусе в подросте появляются позднесукцессионные виды: *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb.; в травяно-кустарничковом ярусе — типичные лесные виды: *Orthilia secunda* (L.) House, *Pyrola minor* L., *P. rotundifolia* L., *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, а также единичные особи редких видов семейства Orchidaceae Juss.: *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.

Полив сточными водами (экотоп Iв) в первые 10 лет способствовал созданию на золоотвале НТГРЭС устойчивых высокопродуктивных растительных сообществ, трансформировавшихся со временем в вейниковые фитоценозы с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.

**Заключение.** Рекультивационные мероприятия ускоряют формирование растительности на золоотвалах. Растительные сообщества, формирующиеся без искусственного улучшения экологических условий, довольно однотипны, в них наблюдается замена стенотопных видов эвритопными. При общей зональной направленности формирования растительности своеобразие растительных сообществ определяется конкретными экологическими условиями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке: Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания № 6.7696.2017/8.9 (анализ данных Чибрик Т. С.); РФФИ № 18-04-00714 (полевые работы и анализ данных Лукиной Н. В., Филимоновой Е. И., Глазыриной М. А., Ракова Е. А.).*

## Библиографический список

1. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. — М.: Логос, 2000. — 264 с.
2. Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). — Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. — 220 с.
3. Миронова С. И. Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии. — Новосибирск: Наука, 2000. — 150 с.
4. Шакиров А. В. Физико-географическое районирование Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2011. — 617 с.
5. Тарчевский В. В. Биологические методы консервации золоотвалов тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. — Свердловск: УрГУ, 1964. — С. 70—114.
6. Пикалова Г. М., Серая Г. П., Пасынкова М. В., Левит С. Я., Шубин Ф. М., Комов С. В. Некоторые закономерности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала // Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. — Свердловск: УрГУ, 1974. — С. 69—96.
7. Полевая геоботаника / Под ред. Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина. В 5 т. — Ленинград: Наука, 1964. — Т. 3. — 530 с.
8. Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Докл. на IV ежегодн. чтениях памяти акад. В. Н. Сукачева. — М.: Наука, 1987. — С. 5—27.
9. Чибрик Т. С., Раков Е. А., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Пасынкова М. В. Динамика биоэкологической структуры флоры золоотвала Нижнетуринской ГРЭС // Тобольск научный — 2016: Материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием). — Тобольск, 2016. — С. 103—106.
10. Раков Е. А. К вопросу о состоянии растительного покрова на разновозрастных золоотвалах Нижнетуринской ГРЭС // Итоги интродукции и селекции травянистых растений на Урале: Сб. науч. тр. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. — Вып. 2. — С. 238—251.

---

## PHYTOCENOSIS FORMATION AT THE NIZHNETURINSKAYA POWER STATION ASH DUMPS

**T. S. Chibrik**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Head of the Laboratory, Tamara.Chibrik@urfu.ru;

**N. V. Lukina**, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Senior Researcher, natalia.lukina@urfu.ru;

**E. I. Filimonova**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Elena.Filimonova@urfu.ru;

**M. A. Glazyrina**, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Scientific and research staff, Margarita.Glazyrina@urfu.ru;

**E. A. Rakov**, Senior Lecturer, Evgeniy-rakov@mail.ru.

Department of Earth Science and Space, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University. First President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Ekaterinburg, Russia

## References

1. Mirkin B. M., Naumova L. G., Solomeshch A. I. Sovremennaya nauka o rastitel'nosti [Modern vegetation science]. Moscow, Logos, 2000. 264 p. [in Russian]
2. Chibrik T. S., Elkin Yu. A. Formirovaniye fitotsenozov na narushennykh promyshlennost'yu zemlyakh (biologicheskaya rekul'tivatsiya) [Formation of phytocenoses on lands disturbed by industry (biological remediation)]. Sverdlovsk, Izd-vo Ural. un-ta, 1991. 220 p. [in Russian]
3. Mironova S. I. Tekhnogennyye suksessionnyye sistemy rastitel'nosti Yakutii [Man-made succession systems of vegetation in Yakutia]. Novosibirsk, Nauka, 2000. 150 p. [in Russian]
4. Shakirov A. V. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Urala [Physical-geographical zoning of the Urals]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2011. 617 p. [in Russian]
5. Tarchevskiy V. V. Rasteniya i promyshlennaya sreda: Sb. nauch. tr. [Plants and industrial environment]. Sverdlovsk, UrGU, 1964. P. 70—114. [in Russian]
6. Pikalova G. M., Seraya G. P., Pasyukova M. V., Levit S. Ya., Shubin F. M., Komov S. V. Rasteniya i promyshlennaya sreda: Sb. nauch. tr. [Plants and industrial environment]. Sverdlovsk, UrGU, 1974. P. 69—96. [in Russian]
7. Poleyaya geobotanika / Pod red. E. M. Lavrenko i A. A. Korchagina [Field geobotany / Edited by E. M. Lavrenko and A. A. Korchagin]. In 5 vol. Leningrad: Nauka, 1964. Vol. 3. 530 p. [in Russian]
8. Kurochkina L. Ya., Vukhrer V. V. *Voprosy dinamiki biogeotsenozov: Dokl. na IV ezhegodn. chteniyakh pamyati akad. V. N. Sukacheva* [Issues of the dynamics of biogeocenoses: Dokl. at IV annual readings in memory of acad. V. N. Sukacheva]. Moscow: Nauka, 1987. P. 5—27. [in Russian]
9. Chibrik T. S., Rakov E. A., Filimonova E. I., Glazyrina M. A., Lukina N. V., Pasyukova M. V. Tobol'sk nauchnyy — 2016: Materialy XIII Vseros. nauch.-prakt. konf. (s mezhdunar. uchastiyem) [Tobolsk Scientific — 2016: Proceedings of the Thirteenth All-Russia scientific-practical conf. (with international participation)]. Tobolsk, 2016. P. 103—106. [in Russian]
10. Rakov E. A. Itogi introduktsii i selektsii travyanistykh rasteniy na Urale: Sb. nauch. tr. [Results of the introduction and selection of herbaceous plants in the Urals: Collected papers]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2008. Issue 2. P. 238—251. [in Russian]

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

**А. В. Протопопов**, доктор биологических наук, Академия наук, Республика Саха (Якутия), *a.protopopov@mail.ru*, Якутск, Россия,  
**В. В. Протопопова**, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, *protopopova.vic@yandex.ru*, Якутск, Россия

Современные представления о позднеплейстоценовых ландшафтах как об обширном безлесном пространстве не объясняют обширные по разнообразию местообитаний находки представителей фауны того периода, а также палеоботанические находки лиственниц, сделанные гораздо севернее их современного ареала. Основные экзогенные факторы формирования растительного покрова в голоцене на территории Якутии, такие как природные пожары и мерзлотные явления, также должны были воздействовать и в позднем плейстоцене. Опираясь на позднеплейстоценовые находки пыльцы и макроостатков лиственницы и древовидных берез на севере Якутии и позднеплейстоценовых остатков представителей лесной фауны, мы предполагаем довольно широкое участие лесных сообществ в сложении растительного покрова. Стациональный анализ фауны позволяет делать вывод также и о саванновом облике позднеплейстоценовых ландшафтов. При этом пастбищный выпас крупных и гигантских представителей мамонтовой фауны позволял поддерживать широкое распространение луговых фитоценозов постпирогенного происхождения, стабилизируя процесс лесовосстановления на этапе развития травянистых формаций, которое в позднем плейстоцене приводило к широчайшему развитию луговых фитоценозов.

В голоцене растительность Якутии приобрела современный таежный облик, с чем связано обогащение фауны строго лесными видами (белки, бурундуки, лютяги). Глубокая трансформация растительного покрова Якутии произошла на границе голоцена и плейстоцена, что привело к постепенному, по мере сокращения площадей пастбищ, вымиранию представителей мамонтовой фауны.

Modern ideas about the Late Pleistocene landscapes as a vast treeless space do not explain the extensive diversity of habitat finds of the fauna of that period, as well as paleobotanical finds of larches, made much to the north of their modern range. The main exogenous factors of vegetation formation in the Holocene in the territory of Yakutia, such as wildfires and the permafrost, should also have had some impact in the Late Pleistocene. Due to the late Pleistocene finds of the larch and the representatives of the forest fauna in the north of Yakutia, we assume a fairly broad participation of forest communities in shaping the vegetation cover. The analysis of the fauna allows us to make a conclusion about the savanna emergence of the Late Pleistocene landscapes. At the same time, pasture grazing of large and giant representatives of the mammoth fauna helped support the wide distribution of meadow phytocenoses of postpyrogenic origin, stabilizing the process of reforestation at the stage of development of grassy formations which led to the widest development of meadow phytocenoses. In the Holocene, the vegetation of Yakutia acquired a modern taiga appearance, which is the reason for the enrichment of the fauna with purely forest species (squirrels, chipmunks, flying squirrels). The deep transformation of the vegetation cover of Yakutia took place at the border of the Holocene and Pleistocene, which led to the gradual extinction of representatives of the mammoth fauna as the area of pastures decreased.

**Ключевые слова:** Якутия, поздний плейстоцен, лесные сообщества, криофитные саванны, постпирогенные сукцессионные процессы, мамонтовая фауна.

**Keywords:** Yakutia, the Late Pleistocene, forest communities, cryophyte savannas, post-pyrogenic succession processes, mammoth fauna.

**Введение.** Современные реконструкции растительного покрова Северного полушария как обширные безлесные пространства, предложенные в палеоботанических работах (Томская, 1981; Гитерман, 1985 и других российских и зарубежных исследователей), опираются на результаты изучения спорово-пыльцевых спектров, где значительно преобладает пыльца злаков, осок, полыней и споры плаунков, при малом количестве пыльцы древесных пород. В то же время в позднем плейстоцене совместно обитали тундровые, степные и лесные животные. Пестрый состав позднеплейстоценовой фауны может объясняться мозаичностью растительного покрова, где лесные сообщества, наряду с тундровыми и степными, должны были занимать достаточно заметные площади.

**Результаты и обсуждение.** Мозаичность современной растительности Якутии обусловлена комплексом экзогенных факторов, включающих в себя резкоконтинентальный климат, наличие многолетней мерзлоты и природные пожары. Действие этих факторов приводит к одновременному развитию криоксерофильной растительности на возвышениях, и болотной растительности в низинах как, например, на аласах Центральной Якутии.

Одним из главных факторов в формировании современных лесных и других растительных экосистем Якутии играют природные пожары. Современная Якутия является одним из наиболее пожароопасных субъектов России. Это обусловлено как резкоконтинентальным климатом с характерным жарким и засушливым летом, так и наличием обширных массивов светлохвойных лесов, где процессы накопления мертвой органики в лесах преобладают над его разложением (Софронов, Вакуров, 1981). Климатической стадией развития северотаежных лиственничных лесов без учета пирогенного фактора являются заболоченные низкопродуктивные редины с господством зеленых мхов. Пожары запускают восстановительный сукцессионный процесс, начинающийся от травяной стадии (Исаев, 2011).

Сходные процессы могли происходить и в позднем плейстоцене. Основной древесной породой в позднем плейстоцене Северо-Востока Азии являлась лиственница даурская (*Larix gmelinii* × *Larix sibirica*). (Украинцева, 2002; Binney et al., 2009), имевшая тогда даже более широкое распространение, чем сейчас, о чем свидетельствуют находки стволов лиственницы на острове Котельный (Geel et al., 2017) и в предгорьях хребта Сунтар-Хаята (Лыткин, Галанин, 2014). Пыльца лиственницы была обнаружена в содержимом желудочно-кишечного тракта и вмещающих отложений у более чем десятка палеонтологических находок, относящихся к позднему плейстоцену (Протопопов, 2017). Присутствие в позднеплейстоценовом фаунистическом комплексе таких факультативных силвантов, как благородный олень, бурый медведь, лисица, лось, заяц-беляк и красных полевок, и отсутствие облигатных силвантов как белка, летяга и бурундук, позволяет делать вывод о разреженности лиственничных лесов, при их широком распространении, на что указывают палеоботанические данные (Протопопов, 2016). Скорее всего позднеплейстоценовый ландшафт Якутии имел саванный характер (Верховская, 1988).

Вполне вероятно, что мамонтовые пастбища на севере Евразии также находились на субкли-

максной травяной стадии под действием перманентно действующих экзогенных пирогенных и зоогенных факторов. Криофитные саванны позднего плейстоцена должны были быть высокопродуктивными, травянистыми, с участием пирогенных разреженных лесных сообществ. При этом они должны участвовать в современных сукцессионных процессах в виде сериальных стадий, и согласно первому биоценологическому постулату В. Тишлера (Реймерс, 1994) являться неотъемлемым компонентом современной растительности (Разумовский, 1981).

**Заключение.** Воздействие крупных растительных животных на постпирогенный лесовозобновительный процесс могло способствовать стабилизации сукцессионного процесса на травяной стадии, что и придавало облик саванн позднеплейстоценовым ландшафтам Якутии.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-45-140007 p\_a и проекта VI.52.1.8. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии (0376-2018-0001; рег. номер АААА-А17-117020110056-0), «Палеодинамика растительности, почвенных покровов и мерзлотных ландшафтов»». (0376-2018-0006, рег. номер — АААА-А18-118042690035-7).*

## Библиографический список

1. Томская А. И. Палинология кайнозоя Якутии. Новосибирск: Наука, 1981. — 221 с.
2. Гитерман Р. Е. История растительности Северо-Востока СССР в плиоцене и плейстоцене. М., Наука, 1985. — 96 с.
3. Софронов В. А., Вакуров А. Д. Огонь в лесу. Новосибирск: Наука, 1981. — 124 с.
4. Исаев А. П. Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии) // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора биологических наук, Якутск, 2010 г. — 53 с.
5. Украинцева В. В. Растительность и климат Сибири эпохи мамонта. — Красноярск: изд-во «Поликом», 2002. — 192 с.
6. Binney H., Willis K., Edwards M. and al. The distribution of late-Quaternary woody taxa in northern Eurasia: evidence from a new macrofossil database. *Quaternary Sci. R. Vol. 28*, 2009. P. 2445–2464.
7. Geel van Bas, Protopopov A., Protopopova V., Pavlov I., J. van der Plicht, Guido B. A. van Reenen. Larix during the Mid-Pleistocene (Greenland Interstadial on Kotelný Island, northern Siberia // *Boreas*, vol.12216, 2016. P. 1–8.
8. Лыткин В. М., Галанин А. А. Динамика ледников хребта Сунтар-Хаята за последние 700 лет // *Наука и образование*. 2014. № 1 (73). — С. 74–79.
9. Протопопов А. В. Динамика наземных экосистем Якутии в позднем плейстоцене и голоцене. — Якутск, изд-во «Алаас», 2017. — 432 с.
10. Протопопов А. В. Использование териоиндикаторов в реконструкции растительного покрова позднего плейстоцена Северной Якутии // *Наука и образование*, № 3 (83), 2016. — С. 16–20.
11. Верховская Н. Б. Мамонтовые экосистемы и причины их исчезновения // *Журнал общей биологии*, 1988. Вып. 49, № 1. С. 70–83.
12. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. — М.: Наука, 1981. 231 с.
13. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. — 367 с.

## ECOLOGICAL FACTORS OF THE VEGETATION COVER FORMATION IN THE LATE PLEISTOCENE IN YAKUTIA'S TERRITORY

**A. V. Protopopov**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Academy of Science of the Sakha (Yakutia) Republic, E-mail: a.protopopov@mail.ru, Yakutsk, Russia,

**V. V. Protopopova**, Engineer-Researcher, Institute of Biological Problems of the Cryolithozone of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, E-mail: protopopova.vic@yandex.ru, Yakutsk, Russia

## References

1. Tomskaya A. I. Palinologiya kajnozoya Yakutii. [The palinology of Cenozoic Yakutia]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 221 p. [in Russian]
2. Giterman R. E. Istoriya rastitel'nosti Severo-Vostoka SSSR v pliocene i plejstocene. Moscow, Nauka, 1985. 96 p. [in Russian]
3. Sofronov V. A., Vakurov A. D. Ogon' v lesu. [The fire in the forest]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 124 p. [in Russian]
4. Isaev A. P. Estestvennaya i antropogennaya dinamika listvennichnyh lesov kriolitozony (na primere Yakutii) [The Natural and anthropogenic dynamics of the larch forests in the cryolithozone: a case study of Yakutia]. Thesis abstract for the degree of Doctor of Biological Sciences]. Yakutsk. 2010. 53 p. [in Russian]
5. Ukraineva V. V. Rastitel'nost' i klimat Sibiri ehpoi mamonta [The vegetation and climate of Siberia of the mammoth era]. Krasnoyarsk, Polikom, 2002. 192 p. [in Russian]
6. Binney H., Willis K., Edwards M. and al. The distribution of late-Quaternary woody taxa in northern Eurasia: evidence from a new macrofossil database. *Quaternary Science Reviews*, 2009. Vol. 28. P. 2445–2464.
7. Geel van Bas, Protopopov A., Protopopova V., Pavlov I., J. van der Plicht, Guido B. A. van Reenen. Larix during the Mid-Pleniglacial (Greenland Interstadial on Kotelny Island, northern Siberia). *Boreas*, 2016. bor.12216, P. 1–8.
8. Lytkin V. M., Galanin A. A. Dinamika lednikov hrebta Suntar-Hayata za poslednie 700 let. Nauka i obrazovanie. [The dynamics of the glaciers of the Suntar-Hayat Range over the past 700 years. *Science and education*. Vol. 1 (73)]. Yakutsk, 2014. P. 74–79. [in Russian]
9. Protopopov A. V. Dinamika nazemnyh ehkosistem YAKutii v pozdnem plejstocene i golocene. [Dynamics of land ecosystems of Yakutia in the Late Pleistocene and Holocene]. Yakutsk: Alaas, 2017. 432 p. [in Russian]
10. Protopopov A. V. Ispol'zovanie terioindikatorov v rekonstrukcii rastitel'nogo pokrova pozdnego plejstocena Severnoj Yakutii. Nauka i obrazovanie. [The use of terioindicators in the reconstruction of the plant cover of the Late Pleistocene of Northern Yakutia. *Science and education*. Vol. 3 (83)]. Yakutsk, 2016. P. 16–20. [in Russian]
11. Verkhovskaya N. B. Mamontovye ehkosistemy i prichiny ih ischeznoveniya. *Zhurnal obshchej biologii*. [Mammoth ecosystems and the causes of their extinction. *Journal of General Biology*. Vol. 49 (1)], 1988. P. 70–83. [in Russian]
12. Razumovskiy S. M. *Zakonomernosti dinamiki biocenozov*. [Patterns of dynamics of biocenoses]. Moscow: Nauka, 1981. 231 p. [in Russian]
13. Reymers N. F. Ehkologiya (teorii, zakony, pravila principy i gipotezy). [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moscow, Rossiya Molodaya. 1994. 367 p. [in Russian]

## МАРГАНЕЦ, КОБАЛЬТ В СИСТЕМЕ ПОРОДА — ПОЧВА — ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА — РАСТЕНИЯ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

**Г. Д. Чимитдоржиева**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (ИОЭБ РАН), [zinakor23@yandex.ru](mailto:zinakor23@yandex.ru), Улан-Удэ, Россия;

**Ц. Д.-Ц. Корсунова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (ИОЭБ РАН), [zinakor23@yandex.ru](mailto:zinakor23@yandex.ru), Улан-Удэ, Россия;

**А. З. Нимбуева**, кандидат биологических наук, заместитель директора, Бурятский государственный республиканский педагогический колледж, Улан-Удэ, Россия

Цель наших исследований — выявление содержания кобальта и марганца в органическом веществе лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв Забайкалья. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить содержание микроэлементов в почвообразующей породе, почвах, растительности и определить содержание их в гумусовых кислотах исследуемых почв. Впервые определены уровни валового содержания Mn, Co в гумусовых кислотах лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв Забайкалья. Показано, что среднее количество изучаемых микроэлементов в почвообразующих породах лугово-черноземных мерзлотных и серых лесных почв ниже кларка литосферы. Содержание кобальта и марганца в почвообразующих породах и органогенном слое изученных почв незначительное. Содержание микроэлементов в гумусовых кислотах не превышает 11 % от их валовых количеств в лугово-черноземных мерзлотных и 9 % в серых лесных почвах. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем природоохранными и санитарно-гигиеническими службами для почвенно-геохимического мониторинга состояния почвенного покрова и растительности.

The purpose of the research is to identify the content of cobalt and manganese in the organic matter of the meadow chernozem permafrost and gray forest soils of Transbaikalia. To achieve the goal, the following tasks were set: to identify the content of trace elements in the soil-forming rock, soil, vegetation, and to determine their content in humic acids of the studied soils. For the first time, the levels of the total content of Mn, Co in humic acids of meadow chernozem permafrost and gray forest soils of Transbaikalia have been identified. It is shown that the average number of studied trace elements in the soil-forming rocks of meadow chernozem permafrost and gray forest soils is below the clark of the lithosphere. The content of cobalt and manganese in the soil-forming rocks and the organogenic layer of the studied soils is insignificant. The content of trace elements in humic acids does not exceed 11 % of their gross quantities in meadow chernozem permafrost and 9 % in gray forest soils. The obtained data can be used further by environmental protection and sanitary services for soil and geochemical monitoring of the state of soil cover and vegetation.

**Ключевые слова:** кобальт, марганец, почвы, почвообразующая порода, растительность, гуминовые и фульвокислоты.

**Keywords:** cobalt, manganese, soil, soil-forming rock, vegetation, humic and fulvic acids.

**Введение:** На горной территории Забайкалья в течение длительного геологического времени господствовало континентальное физическое выветривание горных пород. В аридных и холодных климатических условиях химическое и биологическое выветривание горных пород ограничено, и поэтому трудно предполагать глубокие изменения химического состава почвообразующих пород по сравнению с исходными горными породами. Изменения эти возможны в результате механического разубоживания горных пород, их перемещения, переотложения. Вероятно, содержание микроэлементов в почвообразующих породах будет определяться физико-химическими свойствами каждого элемента и наличием в составе почвообразующих пород минералов — носителей и минералов — концентраторов микроэлементов [1].

Микроэлементный состав почв оказывает большое влияние на их плодородие, является важнейшим показателем химического состояния почв, их свойств и генезиса, обусловленным действием многих факторов, и является результатом весьма сложных и многообразных биогеохимических процессов.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются лугово-черноземные мерзлотные и серые лесные почвы. Лугово-черноземные мерзлотные почвы расположены на территории Еравнинской котловины. Серые лесные почвы в наших исследованиях были сформированы в Тункинской котловине.

Определение физико-химических свойств почв проводили общепринятыми методами. Для экстракции гумусовых веществ использовали метод Гримме. Валовое содержание микроэлементов в почвах определяли согласно [2]. Надземную и подземную массы растений определяли по Н. А. Панковой. После озоления золу растений растворяли в 10 мл 10 % HCl, где определяли микроэлементы [2].

Содержание основных биофильных элементов в растительных образцах определено на CNH-анализаторе в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН, содержание микроэлементов Mn, Co в почвообра-

зующей породе, почве, органическом веществе, гуминовых кислотах и растительности на атомно-абсорбционном спектрофотометре с пламенным атомизатором Solaar M6 в Байкальском институте природопользования СО РАН. Статистическая обработка данных выполнена по Б. А. Доспехову с использованием программы Microsoft Excel.

**Результаты и обсуждение.** По нашим данным, в пролювиально-делювиальных щебнистых суглинистых отложениях содержание марганца составляет 248,6 мг/кг, на элювио-делювии гранито-диоритов — 376,9, на аллювиальных отложениях песчанико-галечниковых — 380,5 мг/кг. Почвообразующие породы обеднены марганцем по сравнению с кларком литосферы.

Содержание кобальта в почвообразующих породах на исследованной территории колеблется от 1,5 до 6,6 мг/кг. Наименее обеспечены кобальтом пролювиально-делювиальные щебнистые, суглинистые отложения — 2,9, несколько большее в аллювиальных отложениях песчанико-галечниковых — 6,6 мг/кг.

По нашим данным, содержание марганца в гумусовом горизонте серых лесных почв составляет 597,3 мг/кг, что ниже регионального фона — 684 мг/кг и выше в аналогичных почвах дельты р. Селенги — 250 мг/кг [3].

Так, содержание марганца в гумусовом горизонте серых лесных почв выше содержания его в почвообразующей породе, что свидетельствует о биогенном накоплении марганца, где коэффициент аккумуляции (Ка) варьирует от 1,0 до 1,6.

Содержание валового марганца в лугово-черноземных мерзлотных почвах составляет 245,7 мг/кг, что напрямую связано с низким содержанием его в почвообразующей породе — 248,6 мг/кг, Ка = 0,98. Вероятно, биогенное накопление его в гумусовых горизонтах лугово-черноземных мерзлотных почв нивелируется за счет выноса в результате ветровой и водной эрозии в условиях горного рельефа. Содержание марганца в исследуемых типах почв ниже валового содержания ПДК.

В исследованных нами серых лесных почвах содержится от 4,0 до 5,4 мг/кг кобальта, в среднем — 4,6 мг/кг, в лугово-черноземных мерзлотных почвах — 3,8 мг/кг. Ка в серых лесных и лугово-черноземных мерзлотных был близок к 1. Низкое содержание кобальта в почвах обусловлено обедненностью почвообразующих пород этим элементом.

Полученные данные по кобальту были значительно ниже ПДК валового содержания элемента в почвах России — 50 мг/кг [4].

Содержание марганца в пролювиально-делювиальных суглинках, подстилающих лугово-черноземные мерзлотные почвы, и органогенном слое

почвы — почти равное (около 250 мг/кг), что в 5 раз ниже значений ПДК в почвах. В растительности марганец большей частью содержится в корневой массе — 198,5 мг/кг, а в надземной — 82,9.

Содержание марганца в гумусовых кислотах незначительное — 123,0 (5 % от валового содержания в почве, по сравнению с данными М. Н. Андреевой — 198 мг/кг [5]). Подобные результаты были получены ранее П. В. Мадановым [6]. Это, по-видимому, связано с тем, что за ФК по методике М. Д. Степановой [7] условно принят весь фильтрат после осаждения ГК, в который входят помимо собственно ФК, но и вытесненные щелочью углеводы, аминокислоты, часть белков. Последние содержат многие реакционноспособные функциональные группы, которые

О биогенном накоплении марганца в почвах свидетельствует его высокое количество в подземной части разнотравья — 314,6 мг/кг, низкое — в надземной — 95,9. Марганец, по нашим данным, в основном связан с минеральной частью почв, поскольку в органическом веществе почв составил всего 152 мг/кг, что составляет около 1 % от валового содержания в почве и в гумусовых кислотах он присутствует в основном в составе ФК.

Кобальт в органогенном слое серых лесных почв найден в количестве 4,6 мг/кг, в почвообразующей породе — 5,3 мг/кг, в корнях трав — 3,5 и в надземной массе — 0,06 мг/кг. Незначительное его количество зафиксировано в органической части почвы — 0,03, в ГК не найден. Также, по данным Н. Л. Байдиной, кобальт практически не накапливается в гумусе [8].

По нашим данным, содержание марганца в надземной массе растительности изменялось в пределах от 50,5 мг/кг в растительности Бичурской лесостепи до 133,8 мг/кг в растительности Тункинской котловины. В целом, количество марганца в разнотравно-злаковой растительности на лугово-черноземной почве было ниже, чем в среднем по злаково-разнотравной растительности на серой лесной почве. Вероятно, это связано с концентрацией марганца древесной растительностью, нежели травянистыми видами.

Наши данные свидетельствуют о низком содержании или отсутствии кобальта в надземной массе растений. В подземной массе содержание его варьировало от 0,6 до 2,0 мг/кг. В связи с этим КБП в надземной массе растений незначителен и кобальт можно отнести к элементам слабого накопления. Низкое содержание кобальта в исследуемых растениях связано с низким валовым содержанием в почве и находится в основном в составе почвенных алюмосиликатов, а также поглощенном состоянии на поверхности минеральных и почвенных коллоидов [9, 10].

**Заключение.** Содержание тяжелых металлов (Mn, Cd) в исследуемых почвах и растительности не превышает их кларковых значений и имеющих ПДК; накопление изученных микроэлементов растительностью соответствует рядам биологического поглощения по А. И. Перельману; специфика почвообразования в Забайкалье определяет особенности гумусного состояния исследуемых почв, высокое содержание гумуса фульватно-гуматного типа с равномерным распределением всех фракций гумусовых кислот в лугово-

черноземных мерзлотных; среднее содержание гумуса гуматно-фульватного типа с преобладанием гуматов и фульватов кальция в серых лесных; в лугово-черноземных мерзлотных микроэлементы концентрируются большей частью в фульвокислотах вследствие равномерного распределения фракций, связанных с кальцием, подвижными и устойчивыми полутвердыми окислами.

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания № госрегистрации АААА-А17-117011810038-7.*

### Библиографический список

1. Сеничкина М. Г., Абашеева Н. Е. Микроэлементы в почвах Сибири / — Новосибирск: Наука, 1986. — 176 с.
2. Инструкция по определению тяжелых металлов и фтора химическими методами в почвах, растениях и водах при изучении загрязненности окружающей среды. — М.: ВАСХНИЛ, 1977. — 48 с.
3. Убугунов В. Л., Кашин В. К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ / — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. — 128 с.
4. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 277 с.
5. Андреева М. Н. Содержание макро- и микроэлементов в гумусе почв Бурятии // Известия Сибирского отделения АН СССР. — Новосибирск, 1987. — Серия биологических наук. — Вып. 1. — С. 51—58.
6. Маданов П. А., Фатьянов А. С., Войкин Л. М., Маданов В. П. Микроэлементы и микроудобрения в подзолистой зоне Русской равнины. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1972. — 556 с.
7. Степанова М. Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. — Новосибирск: Наука, 1976. — 106 с.
8. Байдина Н. Л. Содержание макро- и микроэлементов в гумусе почв Западной Сибири. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 1990. — 17 с.
9. Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л., Гармаев С. Р. Биологический круговорот макро- и микроэлементов в пойменных ценозах Забайкалья. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2003. — 216 с.
10. Анспок П. И. Микроудобрения: Справочник. — Л.: Агропромиздат, 1990. — 272 с.

---

## MANGANESE, COBALT IN THE SYSTEM OF ROCK — SOIL — HUMUS SUBSTANCES — PLANTS OF WESTERN TRANSBAIKALIA

**G. D. Chimitdorzhieva**, Ph. D. (Agricultural Sciences), Dr. Habil, Professor, Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IOEB RAS), zinakor23@yandex.ru, Ulan-Ude, Russia;

**Ts. D.-Ts. Korsunova**, Ph. D. (Biology), Institute of General and Experimental Biology, SB RAS (IOEB RAS), zinakor23@yandex.ru, Ulan-Ude, Russia;

**A. Z. Nimbueva**, Ph. D. (Biology), Buryat State Republican Pedagogical College, Ulan-Ude, Russia.

### References

1. Senichkina M. G., Abasheeva N. E. Mikroehlementy v pochvah Sibiri. [Trace elements in the soils of Siberia]. Novosibirsk, Science, 1986. 176 p. [in Russian].
2. Instrukciya po opredeleniyu tyazhelyh metallov i flora himicheskimi metodami v pochvah, rasteniyah i vodah pri izuchenii zagryaznennosti okruzhayushchej sredy. [Guidelines for the tracing heavy metals and fluorine by chemical methods in soils, plants and waters in the study of environmental pollution]. Ulan-Ude, VASKhNIL, 1986. 176 p. [in Russian].
3. Ubugunov V. L. Tyazhelye metally v sadovo-ogorodnyh pochvah i rasteniyah. [Heavy metals in garden and garden soils and plants]. Ulan-Ude, Buryatskiy Nauchnyy Tsentr SO RAN, 2004. 128 p. [in Russian].
4. Syso A. I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh ehlementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri. [Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk, SO RAN, 2007. 277 p. [in Russian].
5. Andreeva M. N. Soderzhanie makro- i mikroehlementov v gumuse pochv Buryatii [The content of macro- and micronutrients in the humus of the soil of Buryatia]. *Proceedings of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR. Series of Biological Sciences*. Vol. 1. Novosibirsk. 1987. P. 51—58 [in Russian].
6. Madanov P. A., Fat'yanov A. S., Voikin L. M., Madanov V. P. Mikroehlementy i mikroudobreniya v podzolistoj zone Russkoj ravniny [Trace elements and micronutrient fertilizers in the podzolic zone of the Russian Plain.]. Kazan, Kazan University Press, 1972. 556 p. [in Russian].
7. Stepanova M. D. Mikroehlementy v organicheskom veshchestve pochv. [Trace elements in soil organic matter]. Novosibirsk, Nauka. 1976. 106 p. [in Russian].
8. Baidina N. L. Soderzhanie makro- i mikroehlementov v gumuse pochv Zapadnoj Sibiri [The content of macro — and microelements in the humus of the soils of Western Siberia], Novosibirsk, 1990. 17 p. [in Russian].
9. Merkusheva M. G., Ubugunov L. L., Garmaev S. R. Biologicheskij krugovorot makro- i mikroehlementov v pojmnnyh cenozah Zabajkal'ya [Biological circulation of macro- and microelements in floodplain cenoses of Transbaikalia]. Ulan-Ude, BNC SO RAN press. 2003. 216 p. [in Russian].
10. Anspok P. I. Mikroudobreniya: Spravochnik. [Microfertilizers: a Handbook]. Leningrad, Agropromizdat, 1990. 272 p. [in Russian].



## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ Г. ЯКУТСКА

Н. Е. Сивцева, кандидат биологических наук,  
Арктический научно-исследовательский центр  
Академии наук РС(Я),  
sivnatalia81@mail.ru,  
Якутск, Россия

В статье приведены результаты эколого-геохимических исследований почвенного покрова селитебной зоны города Якутска. Проанализирован химический состав почвенного покрова города (урбаноземов), определено содержание различных форм микроэлементов, проведено сравнение содержаний валовых и подвижных форм тяжелых металлов с нормами ПДК, а также с региональными и локальными фоновыми данными. Установлены ряды накопления элементов, определены основные микроэлементы, загрязняющие почвенный покров. Установлено, что по содержанию валовых форм микроэлементов в городских почвах сформирован следующий ряд накопления:  $Pb_{3,5} \rightarrow V_{2,6} \rightarrow B_{1,6} \rightarrow Zn_{1,5} \rightarrow Cr_{1,4} \rightarrow Cu_{1,3}$ . Превышения норм ПДК валовых форм незначительны.

По содержанию подвижных форм элементов ряд накоплений в урбаноземах соответствует следующей схеме:  $Pb_{3,9} > Zn_{3,3} > Cu_{1,7} > Ni_{1,2}$ . По средним содержаниям для подвижных форм микроэлементов выявлено превышение ПДК до двух раз по свинцу, цинку и меди.

Основными поллютантами, вносящими основной вклад в загрязнение почвенного покрова г. Якутска, являются свинец, цинк, медь, никель и хром.

Проведенная оценка эколого-геохимического состояния урбаноземов г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова выявила, что территория города соответствует допустимой категории загрязнения, с локальными участками, на которых превышен уровень умеренной и опасной категории загрязнения.

The paper presents the results of the ecological and geochemical studies of the soil cover of the Yakutsk residential zone. The chemical composition of the city's soil cover (urban soils) was analyzed, the contents of various forms of trace elements were determined, and the contents of gross and mobile forms of heavy metals were compared with the MPC standards, as well as with regional and local background data. The ranks of the accumulation of elements are specified. The main trace elements that contribute to the contamination of the soil cover are identified. It was also established that on the content of gross forms of microelements, in the urban soils, the following accumulation line was formed:  $Pb_{3,5} \rightarrow V_{2,6} \rightarrow B_{1,6} \rightarrow Zn_{1,5} \rightarrow Cr_{1,4} \rightarrow Cu_{1,3}$ . The excess of the norms of the maximum permissible concentration of gross forms is insignificant.

According to the content of mobile forms of elements, the accumulation range in urban areas corresponds to the following scheme:  $Pb_{3,9} > Zn_{3,3} > Cu_{1,7} > Ni_{1,2}$ . By average content, for mobile forms of microelements, the maximum permissible concentrations have been detected up to two times in lead, zinc and copper.

The main pollutants contributing to the pollution of the soil cover of Yakutsk are lead, zinc, copper, nickel and chromium.

The assessment of the ecological and geochemical state of the urban soils of Yakutsk in terms of the total soil contamination indicator revealed that the territory of the city is mainly within the permissible category of pollution, with local areas exceeding the moderate and dangerous category of pollution.

**Ключевые слова:** урбанозем, загрязнение почвы, тяжелые металлы, мониторинг, оценка, суммарный показатель загрязнения.

**Keywords:** urban soil, soil pollution, heavy metals, monitoring, evaluation, pollution indicator.

**Введение.** Почвенный покров города — сложная и неоднородная природно-антропогенная биогеохимическая система. Продукты техногенеза, выпадая на земную поверхность, накапливаются в верхних горизонтах почв, изменяют их химический состав и вновь включаются в природные и техногенные циклы миграции. Как правило, современные уровни загрязнения почв формируются в течение последних 20—50 лет и являются наиболее стабильными индикаторами длительного техногенного воздействия, поэтому литогеохимическая индикация и картографирование являются одним из основных методов оценки экологического состояния городов (Перельман, 1999).

Эколого-геохимические исследования состояния природной среды и непосредственно территории города Якутска проводятся с 90-х годов прошлого столетия.

Первые эколого-геохимические работы начаты геохимиками Якутской экспедиции в начале 90-х годов (Эверстов, Кокшарский и др., 1993), далее с 2000-х годов исследованиями НИИПЭС СВФУ, ИМЗ СО РАН (Саввинов, Легостаева и др., 2002, 2005). В 2017 г. исследования продолжены в рамках Госзадания Академии наук РС (Я) «Изучение антропогенного воздействия на состояние природной среды в районе среднего течения р. Лена», где помимо почвенного покрова, проведена оценка состояния основных компонентов наземных экосистем с использованием биогеохимических показателей (Шадрин и др., 2017).

Накопленный за многие годы исследований достаточно объемный материал характеризует содержание как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в поч-

вах и почво-грунтах территории долины Туймаада, в том числе непосредственно территории города Якутска.

**Методика.** На основании интерпретации данных многолетних исследований проведен статистический анализ с обобщением имеющихся результатов разных авторов. На основе выборки ( $n = 1480$ ) подсчитаны средние геометрические значения, которые отражают региональные ( $n = 112$ ) и локальные ( $n = 21$ ) фоновые характеристики содержания валовых форм микроэлементов в почвах ненарушенных природных ландшафтов. Для подвижных форм микроэлементов общая выборка составила  $n = 417$  проб.

Весь материал отобран и проанализирован по единым общепринятым в почвоведении и агрохимии методикам.

Валовые формы микроэлементов определены методом ПКСА (полуколичественный спектральный анализ), подвижные формы элементов — с применением экстрагента — 1 н.  $\text{HNO}_3$ , на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915. Для выявления степени превышения норм ПДК использованы санитарно-гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041—06.

Эколого-геохимическая оценка территории проведена с использованием показателя суммарного загрязнения почвенного покрова —  $Z_c$  (Саэт, и др., 1990).

В 2017 г. исследованы березовые и сосновые биотопы как наиболее распространенные биотопы по долине Туймаада, в котором расположен г. Якутск.

**Результаты и обсуждение.** Превышение установленных нормативов ПДК для валовых форм микроэлементов в выборках образцов почв за разные годы исследований (в 1990—2000-е годы) незначительны. Среди элементов, превышающих фоновые параметры, достаточно широкий спектр, в котором преобладают по коэффициенту встречаемости P, Cr, Mn и Cu. В целом, коэффициенты концентрации относительно регионального фона варьируют в пределах 1,1—1,6 г/ф, а микроэлементный ряд, характеризующий почвы в районе среднего течения р. Лена по содержанию валовых форм, выглядит следующим образом:  $\text{P} \rightarrow \text{Cr} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Y} \rightarrow \text{Nb} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{Ag}$ .

При этом каждая выборка отличается своей геохимической спецификой, которая в большей степени зависит от качественного состава почвенных проб. Например, выборка 2017 г. характеризуется значительной неоднородностью как по содержанию органики, так и по количеству физической глины. В почвах, отобранных в березовых биотопах, содержание органики и физической глины больше, чем в борových песках сосняков. Поэтому и микроэлементный ряд, характеризующий выборку 2017 г., отличается:  $\text{Mo}_{1,6} \rightarrow \text{Cu}_{1,5} \rightarrow \text{Y}_{1,3} \rightarrow \text{P}-\text{Ge}_{1,2}$ .

По данным 2017 г. в почвах сосняков и березняков установлены значительные различия в содержании валовых форм микроэлементов (таблица).

Содержание микроэлементов в почвах березняков в 2 раза выше, чем в почвах сосняков. При этом необходимо отметить, что коэффициенты концентрации относительно локального фона невысокие. Микроэлементный спектр, характеризующий почвы под березняками, выглядит следующим образом:  $\text{Mn}_{1,7} \rightarrow \text{V}_{1,4} \rightarrow \text{P}(\text{Cr}-\text{Co}-\text{Ni})_{1,3} \rightarrow \text{Cu}_{1,2} \rightarrow \text{Zn}(\text{Ti}-\text{Li})_{1,1}$ , в почвах сосняков превышений более полутора раз не установлено.

Накопление столь широкого микроэлементного спектра предопределено почвенными геохимическими условиями, сформированными в березовых биотопах: относительно высоким содержанием органики 1,4—7,8 % масс., вариациями рН 5,8—7,9, преимущественно супесчаным гранулометрическим составом с содержанием физической глины в пределах 14—16 %, что свидетельствует о высокой сорбционной способности почвенного материала. Низкие коэффициенты концентрации характеризуют природное состояние территорий опробования, но при этом содержание микроэлементов в почвах березняков с разной техногенной нагрузкой характеризуется доминированием того или иного микроэлемента. Например, выявлено, что в почвах березняков на территории городских насаждений (скверы) более активно накапливаются Cr, Zn и Pb.

В целом, почвы мониторинговых площадок города по содержанию валовых форм микроэлементов относительно локального фона характеризуются следующим микроэлементным рядом:  $\text{Pb}_{3,5} \rightarrow \text{V}_{2,6} \rightarrow \text{B}_{1,6} \rightarrow \text{Zn}_{1,5} \rightarrow \text{Cr}_{1,4} \rightarrow \text{Cu}_{1,3}$ .

#### Содержание валовых форм микроэлементов в разных биотопах

Характеристика выборки	Валовое содержание микроэлементов (мг/кг)											
	Li	P	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Pb
Сосняки ( $n = 14$ )	36,8	456,9	3511,0	19,4	36,3	396,1	4,1	11,4	21,4	44,9	36,7	14,9
Березняки ( $n = 6$ )	44,6	645,0	3872,9	30,9	51,3	884,9	6,2	16,3	28,0	49,9	30,0	11,4
Локальный фон ( $n = 21$ )	38,8	504,2	3610,8	22,2	40,0	498,3	4,6	12,6	23,1	46,3	34,5	13,8

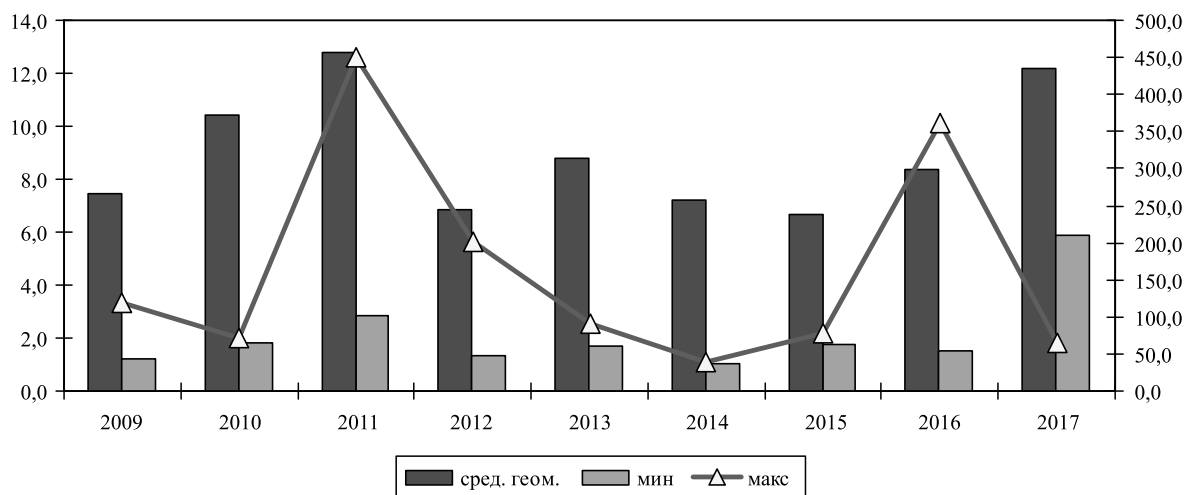


Рисунок. Динамика показателя суммарного загрязнения почвенного покрова по годам исследований (подвижные формы)

В ландшафтно-климатических условиях территории среднего течения р. Лена растения слабо защищают поверхность почвы, которая легко становится достоянием ветра. В городских условиях ветер, перенося огромные массы глинистых, пылеватых и песчаных частиц, способствует разрастанию ареалов загрязнения. На основании этого изучение подвижных форм микроэлементов в почвах является весьма актуальным.

Начиная с 2009 г. на территории города Якутска были заложены мониторинговые точки с отбором проб почв и изучением в них подвижных форм микроэлементов (Сивцева и др., 2011, 2014). В целом, за все годы исследований ряд накопления микроэлементов в урбаногемах на территории г. Якутска соответствует следующей схеме:  $Pb_{3,9} > Zn_{3,3} > Cu_{1,7} > Ni_{1,2}$ .

Расчет коэффициента концентрации (Кс) относительно регионального фона и норм ПДК для подвижных форм микроэлементов средних содержаний элементов, выявил, что превышения фона наблюдаются по таким элементам, как свинец и цинк до 4 раз, по меди до 2 раз. Относительно норм ПДК превышение наблюдается по свинцу в 2 раза, по цинку в 1,7 раз и по меди в 1,5 раза. По значению коэффициентов встречаемости (Н<sub>i</sub>) в почво-грунтах территории г. Якутска абсолютно доминируют свинец и цинк. В целом при интегральной оценке всех геохимических показателей можно с определенной точностью утверждать, что основную экологическую опасность представляют тенденции накопления в грунтах г. Якутска подвижных форм свинца, цинка и меди (Легостаева и др., 2017).

Показатель суммарного загрязнения почвенного покрова на территории города в 2017 г., расчи-

тан относительно локального фона, за который приняты содержания валовых форм микроэлементов в пробах, отобранных в лесах пригородных территорий (n = 21). Результаты свидетельствуют, что данный показатель для валовых форм находится в пределах допустимой категории загрязнения:  $Z_c = 3,4-14,4$ . За исключением локальной точки в достаточно нагруженном автотранспортом районе города, где достигает уровня  $Z_c = 21,8$ , что относится к умеренно-опасной категории загрязнения.

По подвижным формам микроэлементов показатель суммарного загрязнения почвенного покрова находится также в пределах допустимой категории загрязнения (рисунок), но участков с умеренно-опасной и опасной категорией загрязнения в процентном соотношении больше, чем по валовым формам микроэлементов, особенно в центре города.

Максимальные значения достигнуты в локальных точках по городу за счет высоких концентраций, свинца, цинка и меди.

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: наиболее активно в условиях города Якутска накапливаются такие элементы, как свинец, цинк и медь. Данные элементы относятся к первому и второму классу опасности и являются источником неблагоприятного воздействия как для почвенной биоты, так и для растений. В результате многолетнего мониторинга состояния почв города Якутска можно утверждать, что в целом территория находится в пределах допустимой категории загрязнения, но наблюдаются изменения в сторону ухудшения состояния, поэтому данный вопрос требует дальнейших исследований.

## Библиографический список

1. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. — М.: Астрей, 1999. — 768 с.
2. Инженерно-геологические и геоэкологические условия территории Большого Якутска / Отчет НИР ГК РС (Я) ГУП ЯПСЭ / Эверстов Г. Г., Прусаков В. М., Кокшарский М. Г. и др. — Якутск, Сахагеолфонды, 1993.
3. О результатах эколого-геохимических исследований на территории местности Туймаада / Отчет НИР ГКРС (Я) ГУП ЯПСЭ / Кокшарский М. Г., Терентьев В. Н., Легостаева Я. Б. и др. — Гос. регистрационный № 45-95-10/78, Якутск, 1998.
4. Влияние некоторых производственных объектов на состояние почво-грунтов территории г. Якутска / Отчет НИР ИПЭС АН РС (Я) по теме: «Экологический мониторинг долины Туймаада» / Ответ. исполнитель Я. Б. Легостаева. — Якутск, 2002.
5. Экологический мониторинг долины Туймаада / Отчет НИР ФГНУ ИПЭС / ответ. исполнитель Саввинов Г. Н. и др., — Якутск, ИПЭС АН РС (Я), 2005.
6. Изучение антропогенного воздействия на состояние природной среды в районе среднего течения р. Лена / Отчет НИР АН РС (Я) / Шадрина Е. Г. и др. Якутск, 2017. — 142 с.
7. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды / Москва, Недра, 1990. — 335 с.
8. Сивцева Н. Е., Легостаева Я. Б., Макаров В. С., Васильев Н. Ф. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова // Вестник СВФУ № 2, Якутск, — 2011. С. 30—35.
9. Сивцева Н. Е., Легостаева Я. Б. Мониторинговые исследования почвенного покрова г. Якутска // Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы / Материалы Всероссийской конференции молодых ученых. Улан-Уде, 2013. С. 164—165.
10. Сивцева Н. Е. Эколого-геохимический мониторинг территории г. Якутска // Материалы Всероссийской научной конференции «Химическое и биологическое загрязнение почв» / Товарищество научных изданий КМК. — Пушкино: 2018. — С. 138—140.
11. Легостаева Я. Б., Сивцева Н. Е., Ксенофонтова М. И. Эколого-геохимическая специфика формирования урбоэкосистем / Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов. — Новосибирск: Наука, 2017. — С. 55—64.

---

## GEOCHEMICAL STUDIES OF ANTHROPOGENICALLY MODIFIED SOILS OF YAKUTSK

**N. E. Sivtseva**, Ph. D. (Biology), Research Assistant, Arctic Research Center of the Academy of Sciences Republic of Sakha (ARC AS RS), Sivnatalia81@mail.ru, Yakutsk, Russia

### References

1. Perelman A. I. Geokhimiya landshafta [Geochemistry of landscape]. A. I. Perelman, N. S. Kasimov. Moscow, Astreya. 1999. 768 p. [in Russian]
2. Inzhenerno-geologicheskie i geoekologicheskie usloviya territorii Bolshogo Yakutsk. [Geotechnical and geoecological conditions of the territory of the Greater Yakutsk]. *Research report*. Yakutsk, Sahageolfondy, 1993. [in Russian]
3. O rezultatah ekologo-geokhimiicheskikh issledovaniy na territorii mestnosti Tujmaada [On the results of ecological and geochemical studies in the territory of Tuymaada]. Koksharskiy M. G., Terentev V. N., Legostaeva Ya. B. *Research report*. Gos. registratsionnyj № 45-95-10/78, Yakutsk, 1998. [in Russian]
4. Vliyaniye nekotorykh proizvodstvennykh obektov na sostoyaniye pochvo-gruntov territorii g. Yakutsk [The influence of some production facilities on the state of the soil of the territory of Yakutsk]. IPES AN RS (Ya) po teme: “Ekologicheskij monitoring doliny Tujmaada” / research report by Ya. B. Legostaev. Yakutsk, 2002. [in Russian]
5. Ekologicheskij monitoring doliny Tujmaada [Environmental monitoring of the bottom land Tuymaada]. *Research report of FGNU IPES* / Savvinov G. N. et al. Yakutsk, IPES AN RS (Ya), 2005. [in Russian]
6. Izuchenie antropogennogo vozdejstviya na sostoyaniye prirodnoj sredy v rajone srednego techeniya r. Lena [The study of anthropogenic impact on the state of the environment in the middle of the river Lena]. *Research report AS RS* / Shadrina E. G. et al. Yakutsk, 2017. 142 p. [in Russian]
7. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. Geokhimiya okruzhayushej sredy [Environmental Geochemistry]. Moscow, Nedra, 1990. 335 p. [in Russian]
8. Sivtseva N. E., Legostaeva Ya. B., Makarov V. S., Vasilev N. F. Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutsk po summarnomu pokazatelyu zagryazneniya pochvennogo pokrova [Ecological assessment of the state of the territory of Yakutsk in terms of total pollution of the soil cover]. *Vestnik NEFU*. No. 2. Yakutsk. 2011. P. 30—35. [in Russian]
9. Sivtseva N. E., Legostaeva Ya. B. Monitoringovye issledovaniya pochvennogo pokrova g. Yakutsk [Monitoring studies of the soil cover of Yakutsk]. Ulan-Ude. 2013. P. 164—165. [in Russian]
10. Sivtseva N. E. Ekologo-geokhimiicheskij monitoring territorii g. Yakutsk [Ecological and geochemical monitoring of the territory of Yakutsk]. Moscow, Pushino, 2018. P. 138—140. [in Russian]
11. Legostaeva Ya. B., Sivtseva N. E., Ksenofontova M. I. Ekologo-geokhimiicheskaya specifika formirovaniya urboekosistem. [Ecological and geochemical specificity of the formation of urban ecosystems]. Novosibirsk, Nauka, 2017. P. 55—64. [in Russian]

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И САНАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ КАРЬЕРОВ ПО ДОБЫЧЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г. А. Бортникова, аспирант,  
*galka\_lugovskaya@mail.ru*,  
Л. А. Межова, к. г. н.,  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
педагогический университет»,  
г. Воронеж, Россия,  
А. М. Луговской, д. г. н., профессор,  
*alug1961@yandex.ru*,  
М. Ю. Евдокимов, к. г. н., доцент  
*e.evdokimova2012@yandex.ru*,  
А. Ю. Ткачев, аспирант, *medoz2019@mail.ru*,  
П. В. Рихардт, магистрант,  
Московский государственный областной  
университет, *rikhardtpavel@gmail.com*,  
г. Мытищи, Россия

В статье дается описание геоэкологических основ санации карьеров по добыче строительных материалов. Была проанализирована эволюция понятий в определении подходов при восстановлении карьеров по добыче строительных материалов. Необходимость изучения рекультивации карьеров, добывающих строительные материалы, обусловлена множеством факторов, в числе которых отсутствие единого подхода к их рекультивации, значительное количество земель, изымаемое из сельскохозяйственной деятельности, а также существенные региональные различия в каждом конкретном случае. Это свидетельствует о необходимости не просто восстановления территорий, а исследования процесса проектирования модифицированных природно-техногенных геосистем, ускорения естественных сукцессионных процессов с более высокой продуктивностью и устойчивостью при сохранении хозяйственной и экологической ценности ландшафтов, что и является основой нашей работы, обеспечивая научную новизну. Целью данного исследования является: выявление наиболее эффективных мер по рекультивации и дальнейшей санации карьеров по добыче строительных материалов в зависимости от природной зоны, на которой он расположен. Задачами исследования являются: анализ эволюции понятий в определении подходов при восстановлении карьеров по добыче строительных материалов; разработка алгоритма формирования карьеров; выделение модельных карьеров для проведения всестороннего геоэкологического анализа алгоритма формирования карьеров по добыче строительных материалов и составление картосхемы их строения.

The paper gives the description of geo-ecological bases of rehabilitation of the structural material extraction pits. The evolution of the concepts for defining the approaches in the process of recultivation of structural material extraction pits is analyzed. The need of studying the rehabilitation of the quarries for the extraction of structural material is conditioned by a set of factors among which there is a lack of uniform approach to their rehabilitation, the significant amount of lands withdrawn from agricultural activities as well as essential regional differences in each case.

It indicates the need not just to restore the territories, but also to study the process of designing modified natural and technogenic geosystems, accelerate natural succession processes with higher efficiency and sustainability while maintaining the economic and environmental value of the landscapes, which is the basis of our research, providing scientific novelty.

The objective of this research is to identify the most effective measures for the reclamation and further sanitation of the quarries for structural material extraction depending on a natural area in which it is located.

The aims of the research are the analysis of the evolution the concepts for defining the approaches in the process of recultivation of structural material extraction quarries; the development of an algorithm for the formation of quarries; the allocation of model quarries for a comprehensive geo-ecological analysis of the algorithm for the formation of quarries for the extraction of building material and drawing up a map of their structure.

**Ключевые слова:** санация, карьеры по добыче строительных материалов, геосистемы, рекультивация, природопользование.

**Keywords:** rehabilitation, quarries for the extraction of building material, landscape reclamation, environmental management.

**Введение.** Проблемы рекультивации с дальнейшей санацией территории карьеров стали актуальными еще в XX веке, поэтому многие ученые серьезно озаботились этой проблемой. Подходы совершенно разные. С одной стороны, это повторно натуризованные и культивируемые ландшафты, созданные в результате устойчивого управления ландшафтом (L. M., Szmanda, J. V. Renaturalizedand), с другой — более упрощенная рекультивация и устойчивое развитие ландшафтов после добычи полезных ископаемых (Syrbe R. U.). Есть и попытки многокритериального анализа решений для заброшенного карьера в регионе Еврос (3). Исследованием процесса рекультивации карьеров по добыче строительных материалов занимались многие ученые — Иванов Ф. Е., Колесников Б. П., Кнабе W., Лазарева И. В., Лозовский Л. Ш., Масюк Н. Т., Моторина Л. В., Панков Я. В., Овчинников В. А., Райзберг Б. А., Стародубцева Е. Б., Трещевский И. В., Чертец К. Л., Волшаник В. В. Ими последовательно рассматриваются вопросы утилизации ресурсов, не находящих прямого применения по назначению, рекультивация как система специальных мероприятий по подготовке почв для сельскохозяйственного или полеводческого использования, рекультивация ландшафтов как комплекс горно-технических и биологических, а также инженерных и мелиоративных мероприятий с целью создания и ускорения формирования на площадях, освобожденных после промышленного использования оптимальных культурных ландшафтов с продуктив-

ным почвенно-растительным покровом. Противоречие состоит в том, что при наличии общих подходов, выраженных в нормативных и технологических документах, в каждом регионе есть свои геоэкологические особенности, требующие учета при целенаправленном решении поставленных инициатором этого процесса задач, типа собственности и характера использования конкретной территории.

**Модели и методы.** Формирование отличной от предыдущего естественного состояния — модифицированной территории принципиально невозможно вернуть ее в исходное состояние. Однако необходимо и возможно оптимизировать процессы природно-техногенной среды. Показателем оптимизации является скорость восстановления, объем и масса биологической продуктивности, разнообразие и устойчивость состава биоты естественной и модифицированной природно-техногенной геосистемы (МПТГС).

Восстановление большого количества относительно небольших карьеров по производству строительных материалов требует существенных финансово-экономических затрат, что отражается на себестоимости конечной продукции и удорожает постэксплуатационные рекультивационные мероприятия в виде оположивания склонов. Исследование процесса оптимизации геосистем карьеров строительных материалов путем замены технологической схемы рекультивации и создание принципиально новых для данной территории геосистем.

Соответствие технологической схемы вновь формируемых природно-техногенных систем на территории карьеров строительных материалов существующим природно-региональным особенностям имеет большое научное и практическое значение. Требование о возвращении в исходном состоянии территорий после эксплуатации, предлагаемое в нормативно-технической документации, нуждается в критическом научном анализе, пересмотре критериев для рекультивированных территорий и мониторинге (наблюдении и анализ состояния, оценки параметров выявленных показателей, нормировании степени воздействия, приведении показателей в соответствие с нормативами и их оптимизации) естественных процессов при положительном влиянии хозяйственной деятельности.

Геосистемы карьеров образуются в результате добычи полезных ископаемых открытым способом. Геоэкологическая проблема карьеров заключается в нарушении почвенного и растительного покрова, режима подземных вод, изменении состава растительного и животного мира. Отвалы

и выемки становятся самостоятельным местообитанием животных и растений, а чаще местом несанкционированных свалок.

Методологические основы исследования модифицированных природных геосистем составляют изучение взаимосвязей элементов геосфер, находящихся под воздействием техногенной деятельности, прежде всего, геоэкологические особенности территории и распределение биоты под влиянием гидрологического и термического режима. В результате использованные методы и предложенные нами технологические средства, изменения литологической основы для минимизации негативных воздействий на конкретные элементы геосферной оболочки позволили осуществить мониторинг и контроль за использованием природных ресурсов и оптимизацией протекания естественных процессов в модифицированных природных геосистемах.

Результативность мероприятий по реконструкции модифицированных природно-техногенных геосистем карьеров по добыче строительных материалов состоит в геосистемном подходе использования комплекса оценок состояния и функционирования геоморфологических комплексов.

Исходя из принципа целевого использования нарушенных земель выделяются конкретные направления их восстановления:

1. Разработка универсального вяжущего материала, применение лесохимических реагентов и отходов промышленности, отработанных бентонито-гуматных буровых растворов против пылеобразования, создание профилактического покрытия на основе водного раствора поливинилового спирта и полимеров, препятствующего водной эрозии и обеспечивающих благоприятное увлажнение почвы как технологического направления являются превентивной мерой против эрозии (Боброва; Дедиков; Годунова; Зиновьев; Медко; Кононенко; Соловьянов; Шеметов; Чевеверев; Чугунов).

2. Использование биологических препаратов и определение альгологического состава для повышения плодородия является биотехнологическим направлением.

3. Важнейшим условием реализации экологических основ природопользования является биологическое направление промышленной ботаники, культурфитоценологии и агрофитоценологии.

4. Основные принципы проектирования включают комплексное обследование территории карьера с последующей охраной и необходимостью геоэкологического мониторинга земель в системе запланированного типа природопользования.

5. Горнотехническое направление включает мероприятия по формированию форм рельефа для последующего целевого использования в зависимости от назначения, формирование откосов методом выполаживания, создание рекультивационного слоя или коренная мелиорация, строительство дорог, специальных гидротехнических сооружений, полигонов ТБО и др. (ГОСТ 17.5.1.01—83).

Анализ моделей формирования МПТГС в условиях степной, лесостепной и таежной зон показал их разнообразие подходов: сельскохозяйственные модели с созданием на поверхности устоявшихся площадок плодородного слоя оптимальной толщины для традиционного земледелия, не отличающегося от зонального типа. Геомелиоративная модель состоит в покрытии фототоксичных грунтов лессовидными суглинками с последующим нанесением плодородного слоя с устранением вредных свойств подстилающих горных пород. Локальная модель состоит в разработке оптимальных параметров техногенных почв для обеспечения продуктивности подобранного сорта мента сельскохозяйственных растений. Специальная модель предусматривает создание искусственных эдафотопов с потенциально-плодородными полиминеральными нетоксичными горными породами. Гидромелиоративная модель рекомендуется для засушливых территорий, для чего необходимы меры по очистке вод с учетом особенностей гидрологического режима и геохимических циклов. Интересен, на наш взгляд, подход в изменении типа природопользования после проведения комплекса рекультивационных мероприятий, состоящий в ликвидации негативного воздействия за счет организации водно-рекреационных зон с использованием рентабельных гидромеханизированных технологий. В рекомендуемом алгоритме технологической схемы формирования МПТГС рассматриваются вопросы проведения инженерных изысканий и разработки проектной документации на карьеры разного типа по добыче строительных материалов. Проанализировали проектные документации разработки добычи строительных материалов 67 карьеров, расположенных на территории лесостепной и степной зон Воронежской области, нарушенных добычей строительных материалов. Следует отметить различие в геологическом и тектоническом строении исследуемых территорий, осадочный чехол отличается как по составу, так и по происхождению.

На территории Воронежской области разведано 282 полезных ископаемых. Из них 132 месторождений строительных материалов, а 189 об-

щераспространенных полезных ископаемых, основную часть которых — 115 представляют месторождения торфа. Среди запасов полезных ископаемых выделяются месторождения федерального значения. Это Латницкие огнеупорные глины, Подгоренское месторождение мергеля, Никольские и Подгоренские две бентонитовые глины и выделяются месторождения регионального значения. Это в основном месторождения глины для кирпичного производства, для производства керамзита, для кормовых добавок, для производства керамики, песчаные месторождения, которые используются для производства растворов бетона, силикатного кирпича, песчано-гравийных смесей, также месторождения мела для производства извести, известняка, песка и месторождения гранитов. В настоящее время эксплуатируются около 70 месторождений. В структуре добычи строительных материалов области можно выделить следующие основные типы месторождений, например, месторождения глины легкоплавких для кирпичного производства. На территории Воронежской области разрабатываются более 60 таких месторождений. Редким является сырье для производства керамзита. Наиболее крупное — месторождение Бобыльский луг с объемом добычи более 5 тыс. м<sup>3</sup>. Месторождение строительных песков в основном приурочено к руслу реки Дон и всего известно более 40 месторождений с объемом добычи более 1 млн м<sup>3</sup>. Кроме того, выделяются месторождения песков формовочных с объемом добычи более 60 тыс. т и центрами добычи являются село Подгоренское и село Станичное. Самая известная — это Латнинское месторождение огнеупорных глины с объемом добычи около 600 тыс. т. Месторождений карбонатного сырья насчитывается около 30 с объемом добычи более 600 тыс. т, которые приурочены к южным районам Воронежской области. Наиболее крупным месторождением гранитов в регионе является Шкурлатовское с объемом добычи около 3 тыс. м<sup>3</sup>. Ежегодно выявляются месторождения строительных материалов в Хохольском городском округе г. Воронеж до 15 340 тыс. м<sup>3</sup>.

В районе исследования нами проведена типология карьеров по добыче строительных материалов и исследование типичных ландшафтов с применением комплекса научных методов для выявления закономерностей самовосстановления нарушенных земель в процессе оптимизации естественных процессов. В соответствии с определением в процессе типизации карьеров научной гипотезы нами были выбраны населенные пункты, расположенные в Семилукском, Подгоренском, Новохоперском, Кантемировском, Бо-

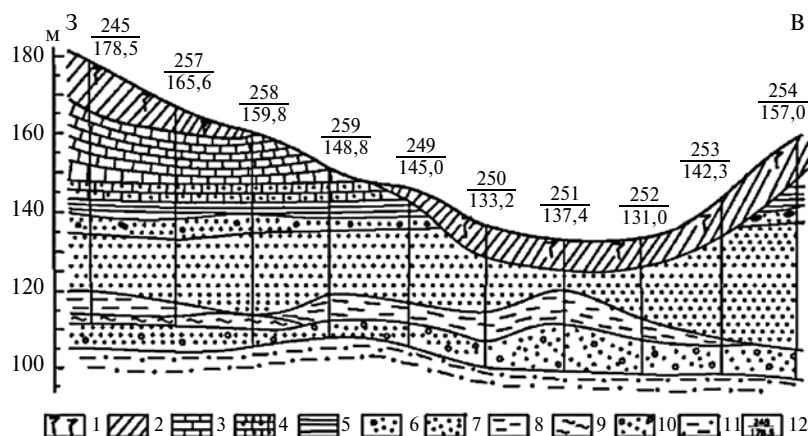
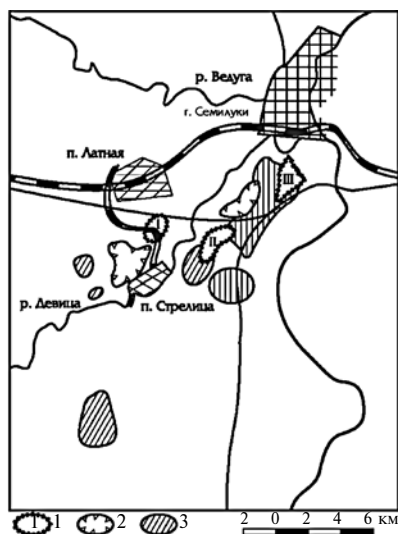


Рис. Картограмма и геологический разрез Латненского месторождения строительных материалов:

1 — почвенно-растительный слой; 2 — моренные отложения (Q); 3 — мел плотный (K2t); 4 — мел песчаный (K2s); 5 — глина плотная (K2s); 6 — песок с желваками фосфоритов (все K2s); 7 — песок кварцевый (K1a + al + K2s); 8 — глина огнеупорная; 9 — алевриты глинистые; 10 — песок с гравием (все K1a); 11 — глина песчаная (K1n); 12 — номер скважины (числитель) и абсолютная отметка (знаменатель)

гучарском и Острогжском районах исследования. Ключевые участки расположены в пределах Средне-Русской возвышенности и Окско-Донской равнины. Комплексное обследование 36 карьеров и визуальные описания сукцессий в процессе природопользования 31 карьера позволили выделить модельные карьеры для проведения всестороннего геоэкологического анализа алгоритма формирования МПТГС карьеров по добыче строительных материалов на примере Латненского месторождения (рисунок).

**Результаты и их обсуждение.** Анализ геоэкологической ситуации карьеров по добыче строительных материалов показал низкую эффективность проводимых мероприятий, направленных на воссоздание зональных геосистем с низкой биологической продуктивностью, требующих значительных финансово-экономических затрат. В то же время потенциал территории позволяет формировать МПТГС с устойчивой серией сукцессионных состояний, что позволило предложить алгоритм реконструкции карьеров по добыче строительных материалов с учетом зонального характера процессов самовосстановления.

Изучение структуры преобразованных природных геосистем и закономерностей функционирования их компонентов одна из важнейших задач современных геоэкологических исследований. Представляя собой совокупность синергических и эмерджентных связей геологических, биологических и технических компонентов, антропогенно преобразованные природные геосистемы требуют всестороннего изучения для разра-

ботки и реализации методов сохранения и улучшения комплекса природных ресурсов и среды обитания человека.

Особенности проявления зональных климатических особенностей находятся в тесной связи с региональными проявлениями, связанными с особенностями микрорельефа. Ключевым фактором для управления МПТГС является микрорельеф, формирование которого изменяет тепловой баланс, радиационный режим на экспозиционной поверхности, гидрологический режим за счет дренирования, формирование оптимального фитоценологического разнообразия с повышением биологической продуктивности геосистем. Микроклиматические условия конкретного местообитания имеют сильную вариацию, сравнимую по своим характеристикам с изменением зональных параметров порядка 200 км в зависимости от склоновой экспозиции или 7–14 дней в зависимости от гидрологических условий в сдвиге фенологических фаз.

Для выявления оптимальной схемы исследовались разновозрастные геосистемы карьеров без ополаскивания и с ополаскиванием склонов на техническом этапе мероприятий с биологической рекультивацией и без нее, выполненных по разным технологическим схемам для выявления особенностей процесса самовосстановления в разных типах откосов.

Важно определить комплексную реакцию среды, выраженной в количественной форме:

— для планирования минимального стандарта качества среды;

— для оценки самовосстановления, полученной с использованием биотических методов исследования, необходимо использование мониторинга абиотических факторов геосистем.

Полученные нами результаты подтверждают оптимизацию процесса формирования МПТГС без выполаживания склонов карьеров по добыче строительных материалов.

**Заключение.** Ключевым фактором воздействия при формировании МПТГС с заданными параметрами являются особенности микрорельефа, который определяет соляренный, термический, гидрологический режимы, почвообразовательный и фитоценогический процессы. В результате исследования выявлена роль и разработан алгоритм регулирования гидротермического режима и сукцессионного процесса для повышения эффективности самовосстановления модифицированных природно-техногенных геосистем. При-

менение технологии формирования крутых склонов должно носить зональный характер и может быть оптимальным для лесостепной и степной зоны в связи с интенсификацией геохимических процессов и оптимизацией теплового режима и гидрологического баланса. Отказ от технологии выполаживания склонов карьеров в технологической части формирования МПТГС и создание гидрологических дренажных объектов в зоне лесотундры и северной подзоне тайги позволяет локализовать техногенное воздействие, увеличить эффективное поглощение солнечной энергии и накопление органики, что, в свою очередь, создает консорционные связи путем увеличения биоразнообразия и устойчивости геосистем. В результате нами предложена схема мониторинга функционирования модифицированных техногенных геосистем карьеров по добыче строительных материалов и их санации.

### Библиографический список

1. Boscutti F., Vianello A., Bozzato F. Vegetation structure, species life span, and exotic status elucidate plant succession in a limestone quarry reclamation // *Restoration ecology*. 2017. Vol. 25. No. 4. P. 595—604.
2. Luc M., Szmanda J. B. Renaturalized and recultivated landscape as a result of sustainable landscape management // *Landscape analysis and planning: geographical perspectives*. 2015. P. 271—292. doi: 10.1007/978-3-319-13527-4\_16.
3. Sybe R. U. Recultivation and sustainable development of post-mining landscapes // *Beijing international symposium land reclamation and ecological restoration (LRER)*. 2014. P. 489—492.
4. Tsolaki-Fiaka S., Bathrellos G. D., Skilodimou H. D. Multi-criteria detision analysis for an abandoned quarry in the Evros region (NE Greece) // *Land*. 2018. Vol. 7. Art. 43. doi: 10.3390/land7020043.
5. Бортникова Г. А. Анализ моделей рекультивации карьеров для санации маргинальных территорий / Г. А. Бортникова, А. М. Луговской, Л. А. Межова // *Успехи современного естествознания*. — 2016. — № 12 (1). — С. 139—143.
6. Бортникова Г. А. Реализация экономического потенциала маргинальной территории путем создания кадастра туристско-рекреационных условий на базе единого интернет-портала / Г. А. Бортникова, А. М. Луговской, Е. Л. Плисецкий, *Региональная экология*, № 6, 2016. С. 36—40.
7. Бортникова Г. А. Типология добычи строительных материалов в Семилукском районе Воронежской области для их рекультивации и санации / Г. А. Бортникова // *XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием*. Воронеж, изд-во: «Научная книга». 2016. — С. 101—103.
8. Бортникова Г. А., Межова Л. А. Геоэкологические проблемы рекультивации и санации карьеров по добыче строительных материалов Воронежской области / *Комплексные проблемы техносферной безопасности Материалы Международной научно-практической конференции* (г. Воронеж, 12 ноября 2015 г.). Часть IV. Воронеж, 2015.
9. Иванова Л. В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования / *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2015. — № 56. — С. 491—498.
10. Чернявский Е. А. Современное состояние проблемы создания модифицированных природно-техногенных геосистем карьеров по добыче строительных материалов с учетом зонального характера процессов самовосстановления / Е. А. Чернявский, А. М. Луговской // *Экология урбанизированных территорий*. — 2015. — № 4. — С. 96—102.

---

## GEO-ENVIRONMENTAL RECLAMATION AND REHABILITATION OF AREAS OF THE QUARRIES FOR CONSTRUCTIONAL MATERIAL EXTRACTION

**G. A. Bortnikova**, postgraduate student, Department of Geography and Tourism, FGOBOU WAUGH "Voronezh State Pedagogical University", galka\_lugovskaya@mail.ru, Voronezh, Russia,

**L. A. Mezхова**, Ph. D. (Geography), Associate Professor of Geography and Tourism, FGOBOU WAUGH "Voronezh State Pedagogical University", Voronezh, Russia,

**A. M. Lugovskoy**, Ph. D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Department of Economic and Social Geography, Geographical and Ecological Faculty, Moscow State Regional University, alug1961@yandex.ru, Mytishchi, Russia,

**M. Yu. Evdokimov**, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Economic and Social Geography, Moscow State Regional University, e.evdokimova2012@yandex.ru, Mytishchi, Russia,

**A. Yu. Tkachyov**, 3rd year postgraduate student, Geographical and Ecological Faculty, Moscow State Regional University, medoz2019@mail.ru, Mytishchi, Russia,

**P. V. Rikhardt**, graduate student, Geographical and Ecological Faculty, Moscow State Regional University, rikhardt Pavel@gmail.com, Mytishchi, Russia.

## References

1. Boscutti F., Vianello A., Bozzato F. Vegetation structure, species life span, and exotic status elucidate plant succession in a limestone quarry reclamation. *Restoration ecology*, 2017. Vol. 25. No. 4. P. 595–604.
2. Luc M., Szmanda J. B. Renaturalized and recultivated landscape as a result of sustainable landscape management. *Landscape analysis and planning: geographical perspectives*. 2015. P. 271–292. doi: 10.1007/978-3-319-13527-4\_16.
3. Sybe R. U. Recultivation and sustainable development of post-mining landscapes. *Beijing international symposium land reclamation and ecological restoration (LRER)*. 2014. P. 489–492.
4. Tsolaki-Fiaka S., Bathrellos G. D., Skilodimou H. D. Multi-criteria decision analysis for an abandoned quarry in the Evros region (NE Greece). *Land*. 2018. Vol. 7. Art. 43. doi: 10.3390/land7020043
5. G. A. Bortnikova, A. M. Lugovskoy, L. A. Mezhova Analiz modelej rekultivacii karerov dlya sanacii marginalnyh territorij. [Analysis of quarry reclamation models for the rehabilitation of marginal areas]. *Uspehi sovremennoego estestvoznaniya*. 2016. No. 12. P. 139–143. [in Russian]
6. G. A. Bortnikova, A. M. Lugovskoy, E. L. Pliseckiy. Realizaciya ekonomicheskogo potenciala marginalnoj territorii putem sozdaniya kadastra turistsko-rekreacionnyh uslovij na baze edinogo internet-portala. [Realization of the economic potential of the marginal territory by creating an inventory of tourist and recreational conditions on the basis of a single Internet portal]. *Regionalnaya ekologiya*. 2016. No. 6. P. 36–40. [in Russian]
7. Bortnikova G. A. Tipologiya dobychi stroitelnyh materialov v Semilukskom rajone Voronezhskoj oblasti dlya ih rekultivacii i sanacii. “XI Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem”. (*Proc. of the XI All-Russian Scientific-Practical Conference with international participation “Typology of the extraction of building materials in the Semiluksky district of the Voronezh region for their recultivation and rehabilitation”*). Voronezh. 2016. P. 101–103. [in Russian]
8. Bortnikova G. A., Mezhova L. A. Geoekologicheskie problemy rekultivacii i sanacii karerov po dobyche stroitelnyh materialov Voronezhskoj oblasti. “Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti”. (*Proc. of the Complex problems of technospheric safety Materials of the International Scientific and Practical Conference “Geoecological problems of recultivation and rehabilitation of quarries for the extraction of construction materials of the Voronezh region”*). Voronezh. 2015. [in Russian]
9. Ivanova L. V. Zarubezhnyj opyt resheniya problem rekultivacii zemel, narushennyh v processe nedropolzovaniya. [Foreign experience in solving the problems of land reclamation disturbed in the process of subsoil use]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten*, 2015. No. 56. P. 491–498. [in Russian]
10. Chernyavskij E. A. Sovremennoe sostoyanie problemy sozdaniya modifitsirovannyh prirodno-tehnogennyh geosistem karerov po dobyche stroitelnyh materialov s uchedom zonalnogo haraktera processov samovosstanovleniya. [The current state of the problem of creating modified natural-man-made geosystems for quarries for the extraction of building materials, taking into account the zonal nature of self-healing processes]. *Ekologiya urbanizirovannyh territorij*. 2015. No. 4. P. 96–102. [in Russian]

## ЕВРОПА И ЕЕ САМАЯ КРУПНАЯ РЕКА: СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Г. С. Розенберг, доктор биологических наук,  
чл.-корр. РАН, Институт экологии  
Волжского бассейна РАН (ИЭВБ РАН),  
genarozenberg@yandex.ru,  
Тольятти, Россия

Обсуждаются результаты сравнения показателей устойчивого развития (индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) и экологический след (ЕФ)) для территорий Западной и Центральной Европы и Волжского бассейна. Показано, что по ИРЧП (кроме Москвы, республик Татарстан и Башкортостан и Владимирской области) все территории Волжского бассейна «отстают» от европейских стран. По индексу ЕФ (фактически, по воздействию на экосистемы) территории «перемешались» более равномерно, хотя для регионов Волжского бассейна «экологический след» более велик (максимальный [из проанализированных европейских стран] отмечен для Бельгии и он почти в два раза меньше, чем для Московской области — максимум ЕФ для Волжского бассейна). Наблюдается усиливающаяся во времени неоднородность территории Волжского бассейна по большинству показателей устойчивого развития. В целях минимизации угроз и рисков устойчивого развития социо-эколого-экономических систем необходимо учитывать все аспекты (экологические, социальные, экономические) в региональной политике федерального правительства, вызовы глобализации и регионализации, формировать компетенцию экологического мышления при подготовке кадров по всем направлениям.

The results of the comparison of the indicators of sustainable development (human development index [HDI] and ecological footprint [EF]) for the territories of Western and Central Europe and the Volga Basin are discussed. It is shown that the HDI (except for Moscow, the Republics of Tatarstan and Bashkortostan and the Vladimir Region) all the territories of the Volga Basin “lag” behind the European countries. According to the EF index (in fact, the impact on ecosystems), the territories have “mixed” more evenly, although for the regions of the Volga Basin the “ecological footprint” is greater (the maximum [of the analyzed European countries] is marked for Belgium and it is almost two times less than for the Moscow Region — the maximum EF for the Volga Basin). The heterogeneity of the territory of the Volga Basin in terms of most indicators of sustainable development is increasing in time. In order to minimize the threats and risks of sustainable development of socio-ecological and economic systems, it is necessary to take into account all aspects (environmental, social, economic) in the regional policy of the Federal government, the challenges of globalization and regionalization, to form the competence of environmental thinking in training in all areas.

**Ключевые слова:** Европа, Волга, устойчивое развитие, экологический след, индексы.

**Keywords:** Europe, the Volga, sustainable development, ecological footprint, indices.

*To do science is to search for repeated patterns,  
not simply to accumulate facts.*

*[Заниматься наукой — значит искать  
повторяющиеся паттерны, а не просто собирать факты].*

Роберт Мак-Артур, 1972 [1, p. 1]

*Я как будто побывал в маленьком Париже...*

Н. А. Добролюбов, 1860 [2, с. 7]

**Введение.** Последние восемь лет я с женой ежегодно провозу три отпускных недели в Карловых Варах (Чехия); мне нравится этот «центр Европы», — кроме целебной минеральной воды (и замечательного пива) отсюда, действительно, «рукой подать» до многих европейских достопримечательностей, столь желанных туристам. И здесь мне на глаза попался буклет туристической компании Turbo Travel [3]. На его обложке была изображена часть Европы, которую «охватывала» эта компания. Абрис этой территории удивительно напомнил очертания Волжского бассейна (см. рис. 1) и мне, естественно, захотелось их сравнить, ибо как справедливо заметил великий Д. И. Менделеев [4, с. 210], «Наука начинается здесь, как и везде, с тех пор, как начинают измерять (добавлю, и сравнивать. — Г. Р.); точная наука немислима без меры».

Западная и Центральная Европа — территория очень высокой концентрации населения, городов, промышленного и сельскохозяйственного производства, транспорта, туризма и рекреации; все это оказывает постоянно возрастающее давление на окружающую среду. Волжский бассейн для России — регион не менее важный и также чрезвычайно антропогенно нагруженный [5]. Возможность сравнения этих территорий вытекает из того, что площадь выделенной части Европы (рис. 1, а) всего в 1,5 раза больше площади Волжского бассейна (см. табл. 1).

**Модели и методы.** Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП; human development index [HDI]) был разработан в 1991 г. британским экономистом индийского происхождения М. Десаи (Meghnad Jagdishchandra Desai, Baron Desai;

**Таблица 1**  
**Характеристика европейских стран и Волжского бассейна**

Регион	Площадь, км <sup>2</sup>	Население, млн чел.	ВВП, трлн \$
Европейские страны (рис. 1, а)	1 959 300	319,3	14,88
Волжский бассейн [5]	1 360 000	56,2	1,22*

*Примечание.* \* — оценка на 2018 г.

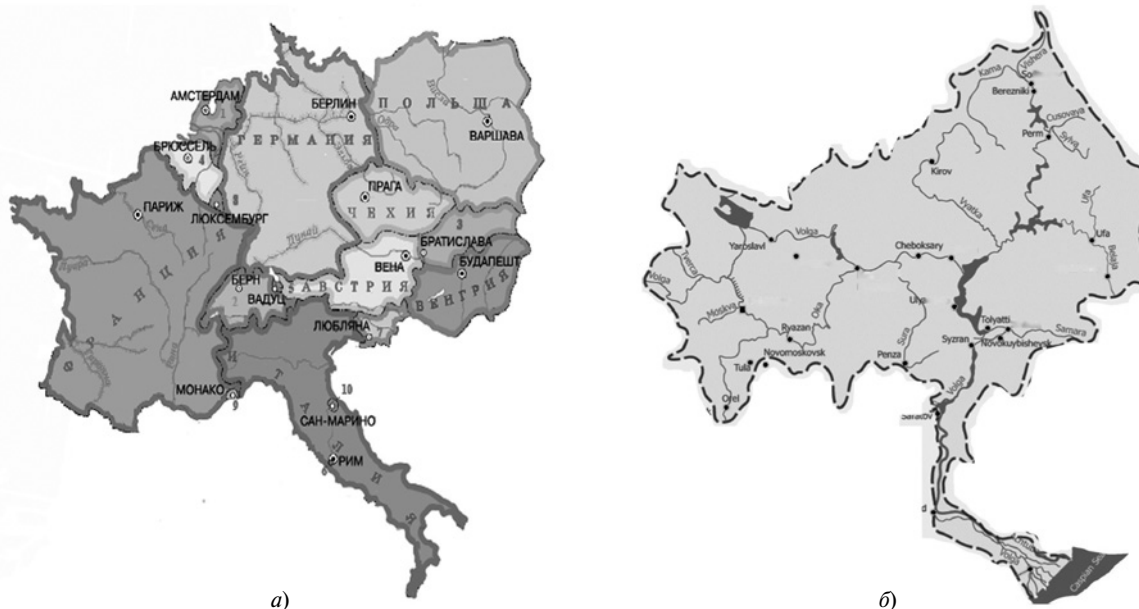


Рис. 1. Схематичное изображение части Европы (а) и Волжского бассейна (б)

г. р. 1940) [6]. Содержание составляющих параметров ИРЧП отражает базовые возможности, которыми люди должны располагать для активного участия в жизни общества: возможность здоровой и продолжительной жизни, возможность и способность иметь знания (образование) и доступ к ресурсам, необходимым для достойного уровня жизни. Индикатор рассчитывается на основе нормированных статистических данных (перевод любого показателя в индекс, значение которого заключено между 0 и 1): региональный ВВП на душу населения ( $X_1$  — индекс доходов в долларах США по паритету покупательной способности [ППС]), индекс ожидаемой продолжительности жизни ( $X_2$ ), индекс уровня образования ( $X_3$ ):

$$\text{ИРЧП} = (X_1 + X_2 + X_3)/3.$$

Каждый из компонентов ИРЧП является результатом взаимосвязанных показателей социально-экономического развития и обладает собственной качественной характеристикой. Индекс валового продукта на душу населения показывает экономическую результативность деятельности людей, индекс продолжительности жизни — состояние физического, психологического и социального здоровья населения, индекс образования — профессиональный и культурный потенциал населения, качество трудовых ресурсов. Величина ИРЧП служит критерием разделения регионов на группы с различным уровнем человеческого развития. Вне зависимости от уровня экономического развития к регионам с высоким уровнем человеческого развития относятся те, в которых  $\text{ИРЧП} > 0,8$ ; к регионам со средним

уровнем человеческого развития — те, в которых  $0,5 < \text{ИРЧП} < 0,8$ ; к регионам с низким уровнем человеческого развития — те, в которых  $\text{ИРЧП} < 0,5$ .

*Экологический след* (ecological footprint [EF]) был предложен в 1992 г. канадским экологом и экономистом У. Ризом (William E. Rees; г. р. 1943) [7]. EF человечества отражает антропогенное давление на биосферу; это — площадь биологически продуктивной территории/акватории, необходимой для производства используемых человеком ресурсов и услуг (продовольствия, древесины, морепродуктов, земли для строительства и пр.) и ассимиляции отходов (оценивается, в первую очередь, по поглощению диоксида углерода). EF измеряется в глобальных гектарах на человека (гга/чел.; гга — гектар со средней способностью к производству ресурсов и ассимиляции отходов) и представляет собой сумму балльных оценок следующих параметров:

- площадь пашни для выращивания потребляемых человеком зерновых;
- площадь пастбищ для производства продукции животноводства;
- площадь лесов для производства древесины и бумаги, для абсорбции выбросов  $\text{CO}_2$ , образующихся при душевом потреблении энергии;
- площадь моря для добычи рыбы и морепродуктов;
- площадь, занятая под жилье и инфраструктуру;
- выбросы, сбросы, образование отходов.

В 2007 г. глобальный экологический след [8] составил почти 18 млрд гга, или 2,7 гга/чел., в то время как общая площадь продуктивных терри-

торий и акваторий планеты (ее биоёмкость) составила около 12 млрд гга, или 1,8 гга/чел. (иными словами, *EF* человечества уже превышал естественную ёмкость планеты в 1,5 раза).

*Экспертная система REGION.* Разработанная в ИЭВБ РАН экологическая (экспертная) информационная система (ЭИС) REGION [5, 9] и соответствующая ей база пространственно-распределенных эколого-экономических данных региона [10], основу которой составляет ретроспективная многоплановая статистика, формально может быть отнесена к ГИС «неклассического типа». Основное ее отличие от типовых баз данных ГИС — это отказ от тщательной детализации чисто географических аспектов территории. Показатель произвольной этиологии (экономический, экологический, климатический и даже чисто географический) «привязывается» к некоторому участку квадратной или прямоугольной формы, имеющему зачастую достаточно большую площадь. Каждый из этих участков приближенно (имея в виду точные географические координаты

или элементы ландшафта) отображается на картосхеме региона. Пожертвовав географической эстетичностью, которая по отношению к пространственно «размытым» данным вряд ли оправдана необходимостью, такая информационная система приобретает не менее привлекательные качества: дешевизну, экономичность в ресурсах, простоту в освоении, эксплуатации и интерпретации выходных данных.

Эколого-экономическая информация по Волжскому бассейну собиралась в виде различного рода карт распределения тех или иных параметров (рабочие масштабы — 1: 2 500 000 и 1: 4 000 000). Масштаб ЭВМ-карт примерно равен 1: 10 000 000. Вся территория Волжского бассейна была разделена на 210 квадратов, каждый площадью около 6,5 тыс. км<sup>2</sup> (примерно 80 × 80 км); в базе данных собрано более 300 карт-параметров.

Основная задача ЭИС REGION — не только накапливать текущую или ретроспективную информацию, но и проводить комплексный анализ состояния экосистем региона, выполнять прогноз

Таблица 2

Индексы устойчивого развития некоторых европейских стран и территорий Волжского бассейна (2016 г.)

Регион	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Население, млн чел.	ВВП, трлн \$	ИРЧП	<i>EF</i> , гга/чел.
1	2	3	4	5	6
1. г. Москва	2,561	12,506	214 · 10 <sup>-3</sup>	<b>0,931</b>	
2. Германия (Федеративная Республика Германия)	357,021	82,176	3,815	<b>0,926 (2015)</b>	5,08
3. Нидерланды (Королевство Нидерландов)	41,543	17,085	0,753	0,922 (2015)	6,19
4. Швейцария (Швейцарская Конфедерация)	41,284	8,237	0,636	0,917 (2015)	5,02
5. Франция (Французская Республика)	547,030	64,860	2,739	0,897 (2015)	5,01
6. Бельгия (Королевство Бельгия)	30,528	11,359	0,495	0,897 (2013)	<b>8,00</b>
7. Словения (Республика Словения)	20,253	2,059	0,059	0,892 (2013)	5,30
8. Лихтенштейн (Княжество Лихтенштейн)	0,16	0,037	0,0036	0,889 (2013)	—
9. Австрия (Австрийская Республика)	83,879	8,712	0,404	0,881 (2013)	6,84
10. Люксембург (Великое Герцогство Люксембург)	2,59	0,576	0,078	0,875 (2013)	—
11. Италия (Итальянская Республика)	301,340	60,796	2,157	0,872 (2015)	4,99
12. Республика Татарстан	67,847	3,894	29 · 10 <sup>-3</sup>	0,864	10,40
13. Чехия (Чешская Республика)	78,866	10,538	0,181	0,861 (2013)	5,73
14. Польша (Республика Польша)	312,679	38,627	1,004	0,843 (2014)	4,35
15. Владимирская область	29,084	1,378	6 · 10 <sup>-3</sup>	0,835	10,4
16. Республика Башкортостан	142,947	4,063	20 · 10 <sup>-3</sup>	0,832	8,3
17. Венгрия	93,036	9,809	2,420	0,831 (2015)	<b>2,99</b>
18. Словакия (Словацкая Республика)	49,034	5,401	0,127	<b>0,830 (2013)</b>	4,06
19. Республика Мордовия	26,128	0,805	2 · 10 <sup>-3</sup>	0,828	7,3
20. Ярославская область	36,177	1,266	7 · 10 <sup>-3</sup>	0,828	9,9
21. Пермский край	160,236	2,623	16 · 10 <sup>-3</sup>	0,827	5,5
22. Самарская область	53,565	3,193	19 · 10 <sup>-3</sup>	0,827	12,2
23. Саратовская область	101,240	2,463	10 · 10 <sup>-3</sup>	0,824	5,9
24. Московская область	44,329	7,503	53 · 10 <sup>-3</sup>	0,820	<b>15,0</b>
25. Нижегородская область	76,624	3,235	18 · 10 <sup>-3</sup>	0,820	6,9
26. Астраханская область	49,024	1,017	5 · 10 <sup>-3</sup>	0,812	<b>4,9</b>
27. Рязанская область	39,605	1,121	5 · 10 <sup>-3</sup>	0,811	7,5
28. Ивановская область	21,437	1,015	2,5 · 10 <sup>-3</sup>	<b>0,778</b>	5,6

*Примечание.* Выделены максимальные и минимальные значения индексов для европейских стран и территорий Волжского бассейна.

условий устойчивого социально-экологического развития территории. Для этого в составе программного обеспечения системы сформирована развитая библиотека методов и алгоритмов исследования причинно-следственных связей между факторами эколого-экономической системы.

Используя эту ЭИС REGION, был рассчитан индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП; [11, 12]) и экологический след ( $EF$ ; [13]) для основных территорий Волжского бассейна (табл. 2); эти же показатели для европейских стран почерпнуты из «всезнающей» Википедии.

**Результаты и обсуждение.** Результаты расчета ИРЧП и  $EF$  (все данные табл. 2 по Волжскому бассейну относятся к 2016 г., для европейских стран указаны в графе «ИРЧП»). Легко заметить, что по ИРЧП (кроме Москвы, республик Татарстан и Башкортостан и Владимирской области) все территории Волжского бассейна «отстают» от европейских стран. По-видимому, это можно объяснить тем, что ИРЧП напрямую зависит от ВВП (валовой внутренний продукт [ $X_1$ ]; впервые предложен в 1934 г. нашим соотечественником, лауреатом Нобелевской премии по экономике 1971 г. Саймоном Кузнецом), «вклад» которого в этот индекс завышен, по сравнению с «природной» и «социальной» составляющими устойчивого развития. И если среднедушевой ВВП по ППС (паритету покупательной способности) в мире за 10 лет (с 2006 по 2016 г.) вырос на 25 % и равняется 16 тыс. \$ [14], то по территориям Волжского бассейна, в среднем, он рос быстрее (в 1,5 раза) и примерно равен 25 тыс. \$. В то же время индексы ожидаемой продолжительности жизни ( $X_2$ ; косвенная характеристика качества окружающей среды; замечу также, что лесистость сравниваемых территорий примерно одинакова: 39,2 % для европейских стран и 35 % для территории Волжского бассейна [5]) и уровня образования ( $X_3$ ; социальная составляющая) растут не так быстро и весьма неоднородно по пространству [15].

По индексу  $EF$  (фактически, по воздействию на экосистемы) территории «перемешались» более равномерно, хотя для регионов Волжского бассейна «экологический след» более велик (максимальный [из проанализированных европейских стран] отмечен для Бельгии, и он почти в два раза меньше, чем для Московской области — максимум  $EF$  для Волжского бассейна). Но и страны Европы, и территории Волжского бассейна демонстрируют сильное давление (влияние) на природную среду: среднее значение  $EF$  для всей Земли оценивается сегодня величиной уже чуть более 3 гга/чел.

**Заключение.** Выполненное исследование показателей устойчивого развития стран Европы и территорий Волжского бассейна позволяет констатировать, что в целях минимизации угроз и рисков глобализации и регионализации необходимо учитывать все аспекты (экологические, социальные, экономические) в региональной политике как на уровне ЕС, так и на уровне Правительства России. Однако, ни в нашей стране, ни в мире, как отмечает член комиссии по устойчивому развитию Великобритании, профессор Тим Джексон (Tim Jackson; г. р. 1957), «не существует практически ни одного реального примера согласованной макроэкономической политики, которая может служить основой для устойчивого развития» [16, с. 188]. Поэтому очень важно наладить на международном уровне партнерство государств, регионов, ученых по исследованию сложнейшей проблематики устойчивости социально-эколого-экономических систем разных уровней, проводить совместные крупные комплексные экспедиции, научные конференции, вести обмен кадрами. Этой цели, возможно, послужит и данное исследование. Результатом партнерства может стать проект пространственной политики устойчивого развития на уровне макрорегиона (например, бассейна крупной реки).

### Библиографический список

1. MacArthur R. H. Geographical Ecology. Patterns in the Distribution of Species. N. Y.: Harper and Row, 1972. XVIII + 269 p.
2. Петраков В. В., Машковцев В. П. Маленький Париж: Елисаветград в старой открытке. М.: Пинакотека, 2004. 240 с. (Сер.: Губерния в старой открытке; Кн. 8).
3. Тур-Booking. Туристический центр. Karlovy Vary: Turbo Travel, 2017. 10 p.
4. Менделеев Д. И. Предисловие к русскому изданию / Мон Г. Метеорология, или Учение о погоде / Пер. с нем. СПб.: Тип. т-ва «Обществ. польза», 1876. XXIV + 283 с. // Менделеев Д. И. Сочинения. Т. VII. Геофизика и гидродинамика. Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 205—223.
5. Розенберг Г. С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, 2009. 477 с.
6. Desai M. Human developments — concepts and measurement // *European Econ. Rev.* 1991. V. 35. P. 350—357.
7. Rees W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out // *Environment and Urbanisation*. 1992. V. 4, No. 2. P. 121—130.
8. Ewing B., Moore D., Goldfinger S., Oursler A., Reed A., Wackernagel M. Ecological Footprint Atlas 2010. Oakland (CA): Global Footprint Network, 2010. 113 p.
9. Костина Н. В. REGION: экспертная система управления биоресурсами. Тольятти: Самар. НЦ РАН, 2005. 132 с.

10. Розенберг Г. С., Шитиков В. К., Костина Н. В., Кузнецова Р. С., Лифиренко Н. Г., Костина М. А., Кудинова Г. Э., Розенберг А. Г. Экспертно-информационная база данных состояния социо-эколого-экономических систем разного масштаба «REGION» (ЭИБД «REGION»). Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2015620402 от 27 февраля 2015 г. 1 с.
11. Костина Н. В., Розенберг Г. С., Хасаев Г. Р., Шляхтин Г. В. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала (на примере Волжского бассейна) // Изв. Сарат. ун-та. Сер. Химия, биология, экология. 2014. Т. 14, вып. 3. С. 54–70.
12. Хасаев Г. Р., Розенберг Г. С., Костина Н. В. Глава 11. Устойчивое развитие региональных социо-эколого-экономических систем (на примере Волжского бассейна) // Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2015 год / Под ред. Л. М. Григорьева, С. Н. Бобылева. М.: Аналит. центр при Правительстве Российской Федерации, 2015. С. 223–236.
13. Костина Н. В., Розенберг А. Г., Розенберг Г. С., Хасаев Г. Р. Показатель «экологического следа» и его взаимосвязь с другими индексами устойчивого развития // Вестн. Самар. гос. эконом. ун-та. 2014. № 9 (119). С. 34–41.
14. Доклад о человеческом развитии 2016. Человеческое развитие для всех и каждого / Пер. с англ.; Программа развития ООН. М.: Весь Мир, 2017. 284 с.
15. Григорьев Л. М. (ред.). Неравномерность развития стран мира // Бюллетень о текущих тенденциях мировой экономики. М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 2018. Вып. 30. Март. 16 с.
16. Джексон Т. Процветание без роста: Экономика для планеты с ограниченными ресурсами. М.: Аст-Пресс. 2013. 290 с.

---

## EUROPE AND ITS BIGGEST RIVER: COMPARISON INDICATORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**G. S. Rozenberg**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Corresponding Member of the RAS, Chief Researcher, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the RAS, genarozenberg@yandex.ru, Togliatti, Russia

### References

1. MacArthur R. H. Geographical Ecology. Patterns in the Distribution of Species. N. Y.: Harper and Row, 1972. XVIII + 269 p.
2. Petrakov V. V., Mashkovtsev V. P. Malen'kij Parizh: Elisavetgrad v staroj otkrytke. [Little Paris: Yelisavetgrad in the Old Postcard. (Ser.: Province in an old postcard; Book 8)]. Moscow, Pinacoteca, 2004. 240 p. [in Russian].
3. Tur-Booking. Karlovy Vary, Turbo Travel, 2017. 10 p.
4. Mendeleev D. I. Predislovie k russkomu izdaniyu / Mon G. Meteorologiya, ili Uchenie o pogode / Per. s nem. SPb.: Tip. t-va "Obshchestv. pol'za", 1876. XXIV + 283 s. Mendeleev D. I. Sochineniya. T. VII. Geofizika i gidrodinamika. [Preface to the Russian edition / Mohn H. Meteorology, or the Study of weather. Mendeleev D. I. Works. Vol. VII. Geophysics and Hydrodynamics]. Leningrad; Moscow, Publ. house of the USSR Academy of Sciences, 1946. P. 205–223. [in Russian].
5. Rozenberg G. S. Volzhskij bassejn: na puti k ustojchivomu razvitiyu. [The Volga Basin: Towards Sustainable Development]. Togliatti, Kassandra, 2009. 477 p. [in Russian].
6. Desai M. Human developments — concepts and measurement. *European Econ. Rev.* 1991. Vol. 35. P. 350–357.
7. Rees W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanisation.* 1992. Vol. 4, No. 2. P. 121–130.
8. Ewing B., Moore D., Goldfinger S., Oursler A., Reed A., Wackernagel M. Ecological Footprint Atlas 2010. Oakland (CA), Global Footprint Network, 2010. 113 p.
9. Kostina N. V. REGION: ehkspertnaya sistema upravleniya bioresursami. [REGION: Expert System for Biological Resource Management]. Togliatti, Samar. SC RAS, 2005. 132 p. [in Russian].
10. Rozenberg G. S., Shitikov V. K., Kostina N. V., Kuznetsova R. S., Lifrenko N. G., Kostina M. A., Kudinova G. T., Rozenberg A. G. Ehkspertno-informacionnaya baza dannyh sostoyaniya socio-ehkologo-ehkonomicheskikh sistem raznogo masshtaba "REGION". [The Expert Information Database of the Status of Socio-Ecological-Economic Systems of Different Scale "REGION" (EIBD "REGION")]. Certificate of State Registration of Database № 2015620402 from February 27, 2015. 1 p. [in Russian].
11. Kostina N. V., Rozenberg G. S., Khasaev G. R., Shlyakhtin G. V. Statisticheskij analiz indeksa razvitiya chelovecheskogo potenciala (na primere Volzhskogo bassejna). [Statistical analysis of the human development index: a case study of the Volga Basin]. *Izv. Sarat. Univ. Ser. Chemistry, biology, ecology.* 2014. Vol. 14, No. 3. P. 54–70. [in Russian].
12. Khasaev G. R., Rozenberg G. S., Kostina N. V. Glava 11. Ustojchivoe razvitie regional'nyh socio-ehkologo-ehkonomicheskikh sistem (na primere Volzhskogo bassejna). [Chapter 11. Sustainable development of regional socio-ecological and economic systems: a case study of the Volga River Basin]. Report on Human Development in the Russian Federation for 2015 / Ed. L. M. Grigoriev, S. N. Bobylev. Moscow, Analit. Center Government of the Russian Federation, 2015. P. 223–236. [in Russian].
13. Kostina N. V., Rozenberg A. G., Rozenberg G. S., Khasaev G. R. Pokazatel' "ehkologicheskogo sleda" i ego vzaimosvyaz' s drugimi indeksami ustojchivogo razvitiya. [The indicator "ecological footprint" and its relationship with other indices of sustainable development]. *Vestn. Samar. State Economy Univ.* 2014. No. 9 (119). P. 34–41. [in Russian].
14. Doklad o chelovecheskom razviti 2016. Chelovecheskoe razvitie dlya vsekh i kazhdogo. [Human Development Report 2016. Human Development for Each and Every. United Nations Development Programme]. Moscow, Whole World, 2017. 284 p. [in Russian].
15. Grigoriev L. M. (ed.). Neravnomernost' razvitiya stran mira. [The uneven development of countries of the world]. A Newsletter about the Ongoing Tendencies of the World Economy. Moscow, Analyt. Center Government of the Russian Federation. 2018. Vol. 30. March. 16 p. [in Russian].
16. Jackson T. Procvetanie bez rosta: Ehkonomika dlya planety s ogranichennymi resursami. [Prosperity Without Growth: Economics for a Finite Planet]. Moscow, AST-Press. 2013. 290 p. [in Russian].

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ КАК ФАКТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

**А. А. Григорьева**, научный сотрудник, Якутский научный центр комплексных медицинских проблем (ЯНЦ КМП), *nastiagrigoryeva@gmail.com*, Якутск, Россия,  
**Г. Е. Миронова**, доктор биологических наук, профессор, институт естественных наук (ИЕН), Северо-восточного федерального университета им. М. К. Аммосова (СВФУ им. М. К. Аммосова), *mirogalin@mail.ru*, Якутск, Россия,  
**Л. Д. Олесова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, *oles59@mail.ru*,  
**З. Н. Кривошапкина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, *zoyakriv@mail.ru*,  
**Е. И. Семенова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, *kunsuntar@mail.ru*,  
**А. В. Ефремова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, *a.efremova@mail.ru*,  
**Л. И. Константинова**, научный сотрудник, Якутский научный центр комплексных медицинских проблем (ЯНЦ КМП), *konstanta.l@mail.ru*, Якутск, Россия,  
**А. И. Яковлева**, научный сотрудник, Якутский научный центр комплексных медицинских проблем (ЯНЦ КМП), *sashyak@mail.ru*, Якутск, Россия,  
**Е. Д. Охлопкова**, кандидат биологических наук, Якутский научный центр комплексных медицинских проблем (ЯНЦ КМП), *elena\_ohlopkova@mail.ru*, Якутск, Россия

В статье приводится обзор литературы о содержании тяжелых металлов в почве и растительном покрове Якутии, а также в органах и тканях животных в хронологическом порядке, начиная с 50-х годов. В 50—70-х гг. большинство публикаций посвящено содержанию тяжелых металлов в кормовых травах. Начиная с 80-х гг. появляются работы, связанные с загрязнением окружающей среды в результате разработок полезных ископаемых. Показано, что тяжелые металлы вызывают изменение химического состава всех компонентов природной среды, нарушают устойчивость и продуктивность экосистем криолитозоны и влияют на состояние здоровья населения, проживающего в районах с высокой техногенной нагрузкой.

The article provides a review of the literature on the content of heavy metals in the soil and vegetation cover of Yakutia, as well as in the organs and tissues of animals in chronological order, starting with the 1950s. In the 1950s—1970s the most publications were devoted to the content of heavy metals in feed grasses. Since the 1980s there have been works related to environmental pollution resulting from the development of mineral resources. It is shown that heavy metals cause a change in the chemical composition of all components of the natural environment, violate the stability and productivity of the ecosystems of the cryolithozone and affect the health of the population living in areas with high anthropogenic stress.

**Ключевые слова:** Якутия, почва, тяжелые металлы, криолитозона, кормовые травы, микроэлементы, окружающая среда, трофическая цепь.

**Keywords:** Yakutia, soil, heavy metals, cryolithozone, forage grasses, microelements, environment, trophic chain.

Поступление тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду связано с активной деятельностью человека. Основные источники — промышленность, автотранспорт, котельные, мусоросжигающие установки и сельскохозяйственное производство. К отраслям промышленности, загрязняющим окружающую среду ТМ, относят черную и цветную металлургию, добычу твердого и жидкого топлива, горно-обогатительные предприятия, стекольное, керамическое и электротехническое производство [1]. Особенностью почв Якутии является снижение интенсивности биологического круговорота веществ в них, из-за дефицита тепла, относительно бедного растительного покрова, связанного со слабо развитым гумусовым горизонтом. Изучение вопросов, связанных с загрязнением почв Якутии тяжелыми металлами, является весьма актуальным, так как северные ландшафты обладают малой устойчивостью из-за слабого дренажа и ежегодного промерзания. Процессы самовосстановления и самоочищения в них происходят медленно. В наземных экосисте-

мах понижены скорости биотических и химических реакций, что приводит к высокому накоплению химических компонентов, в том числе тяжелых металлов [2]. Почвы являются первым звеном в биогеохимической цепи и начальным этапом миграции тяжелых металлов в системе: «почва — растение — животное — продукты питания — человек». Распространенность эндемических заболеваний животных, таких как диспепсия, беломышечная болезнь, костная дистрофия, в 50-х годах послужили поводом для исследования содержания ТМ в почве и в кормовых травах пастбищ Якутии [3, 4]. Поскольку кормовые травы стоят на втором месте трофической цепи, первые исследования по содержанию микроэлементов были произведены в образцах трав. М. Ф. Габышева и А. В. Казанский в 1957 г., используя спектральный анализ в ряде растений и трав Якутии, обнаружили такие микроэлементы, как: Fe, Mn, Al, Ba, Sz, Pb, Zn, Cu, J, Mo, Ni, Ag, Sb, Co, Sn, Ga. При этом было установлено более высокое содержание стронция (в 10—14 раз) в отдельных видах трав долины р. Амги, по сравнению с его содержанием в тех же видах растений, произрастающих в аласах Лено-Амгинского междуречья [5]. В 1958 г. В. С. Тараненко также на основе данных спектрального анализа выявил недостаточное содержание Co, Ni, Cu, Fe и I в образцах сена с лугов Горного района. При этом в растениях с массовым заболеванием крупного рогатого скота под местным названием «багдайар» (горбатость) в образцах сена не обнаруживали Co и Cu [6].

В 1962 г. А. И. Федотов и др., изучив несколько образцов сена с долины р. Амга в Институте биологии Латвийской ССР, подтвердили пониженное содержание в них Mn, Cu, Zn, Co, и выдвинули гипотезу о полигипомикроэлементозах как причине беломышечной болезни телят [7—9].

Планомерные исследования микроэлементов в кормовой растительности Якутии были начаты с 1959 г. лабораторией биохимии растений Института биологии Якутского филиала СО АН СССР. Данные этих исследований по центральным районам республики были опубликованы в сборнике статей «Биохимические особенности растений Якутии» [10—13]. Якутские ученые показали широкую изменчивость содержания микроэлементов в растениях в зависимости от вида, фаз вегетации и влияния разнообразных факторов среды произрастания (инсоляция и влажность). Далее исследования были продолжены с охватом северо-восточных районов республики.

В ряде работ, опубликованных в 60—70-х гг., была выявлена зависимость содержания тяжелых металлов в растениях от климато-географических

факторов [14—17]. На основе этих исследований А. Д. Егоров в 1968 г. на пятом Всесоюзном совещании «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине» в г. Иркутске предложил ввести термин «биогеохимическое районирование» [18]. На территории Центральной Якутии были выявлены разные биогеохимические провинции, отличающиеся по содержанию макро- и микроэлементов в кормовых растениях. Например, аласные экосистемы характеризуются высоким содержанием Na, K, Mg, Mo, Zn, Cu в почвенно-растительном покрове, но пониженным содержанием Ca, P, Co и недостаточным Mn. Почвенно-растительные покровы долинно-пойменных экосистем реки Лена обогащены Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe, но бедны содержанием Mn, Co и I. Эти исследования имели большое практическое значение, так как помогли решить вопросы полимикроэлементозов крупного рогатого скота. Применение микроэлементов в сельском хозяйстве улучшило их кормовую базу с учетом дефицита и обеспеченности того или иного микроэлемента. Таким образом, проблема полимикроэлементозов, например, беломышечной болезни телят, была решена.

В 2005 г. Покатилова В. В. изучила содержание тяжелых металлов в кормовых травах на увлажненных лугах Кобяйского района. Автор выявила прямую корреляционную связь с концентрацией их в почвах, а на более сухих аласных лугах корреляционная связь отсутствует, что также связано со степенью обеспеченности почв влагой. В кормовых травах лугов бассейна Средней Лены на территории Кобяйского улуса содержание свинца, кадмия находится в пределах допустимой концентрации (ПДК), а содержание Hg было выше ПДК, особенно в долине реки Лунха, что требует дальнейших широких исследований по содержанию Hg в кормовых травах [19].

Во второй половине XX века изучение микроэлементов в Якутии связано с освоением и разработкой месторождений полезных ископаемых. Велось широкомасштабное освоение минеральных ресурсов: оловодобывающей промышленности на северо-востоке, угле-, золотодобывающей — на юге и алмазодобывающей — на западе республики.

В 60—80-х гг. в западной Якутии (Мирнинский район) быстрыми темпами начала развиваться алмазодобывающая промышленность. Среди загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу Мирнинского района, имеются супертоксичные Cd и Tl и элементы I класса опасности (Pb, As, Sb, V, Cr, Co, Ni). По комплексно-экологической оценке Е. И. Бурцевой состояние окружающей среды Мирнинского района характеризуется как напряженное [20].

В работах В. Н. Макарова [21] показано, что на формирование геохимических аномалий на территории Якутии влияют выбросы Норильского промышленного района. В результате преобладания неблагоприятных восточного и юго-восточного направлений ветров в сторону Якутии воздействие выбросов Норильска прослеживается до среднего течения реки Вилюя. Кроме того, из-за переходящего характера ряда крупных рек, истоки которых находятся за пределами Якутии (Лена, Витим, Колыма, Олекма), их воды на территорию республики поступают уже загрязненными. Это связано с разработкой месторождений полезных ископаемых, таких как железо, золото и углеводороды в Иркутской области, золота и олова — в Магаданской. Среди техногенных воздействий особое место занимает радиационный фактор, его мощность, глубина и многогранность действия на живые объекты превосходит другие факторы. На территории республики было осуществлено 12 подземных ядерных взрывов, два из которых («Кратон-3» и «Кристалл») сопровождались выбросом радионуклидов на поверхность и в атмосферу. Радиологические исследования почвы, растительности и животных выявили довольно высокий уровень остаточной радиации [22, 23].

В работах А. Н. Журавской и др. были изучены радионуклиды и тяжелые металлы в системе «радиоактивные отвалы — грунт — растение» и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового в Якутии. Ими было зафиксировано высокое содержание радионуклидов урана и тория в почвах отвалов шахт месторождения «Южное», превышающее ПДК. И показано, что продуктивная способность растительных организмов в условиях повышенного радиационного фона обуславливается недостатком в биологических системах цинка и замещением его на кадмий. Токсическое воздействие кадмия проявляется при высоком содержании элемента в растительных тканях и, как следствие, снижением жизнеспособности семенного потомства [24].

Последующие исследования ТМ в Якутии связаны с открытием научного института прикладной экологии Севера (ИПЭС) в 1993 г. на базе отдела охраны природы Якутского научного центра СО РАН и лаборатории экологии мерзлотных почв Института биологии СО РАН. Одним из направлений ИПЭС является исследование устойчивости и продуктивности экосистем криолитозоны в современных условиях, решение экологических проблем техногенного и антропогенного воздействия на экосистемы, экологический мониторинг и прогнозирование в условиях интенсивного промышленного освоения Арктики [2, 25—27].

В сборнике статей «Почвы, растительный и животный мир Юго-Западной Якутии» рассмотрены недостаточно изученные регионы Якутии. В статье Я. Б. Легостаевой из этого сборника сказано, что изучение геохимических особенностей мерзлотных почв Юго-Западной Якутии связано с разведкой и освоением Талаканского месторождения (2001—2005 гг.). При комплексном геолого-химическом исследовании в Лено-Нюйском междуречье получены подробные геохимические характеристики подстилающих пород, почв, донных отложений и природных вод Ленского улуса. Показано, что геохимическую специфику почвенного покрова Юго-Западной Якутии определяют Ag и Co, относящиеся к переходным металлам халькоцианофильной группы, а концентрации В, W и Mn превышают ПДК в природных ненарушенных почвах. При исследовании Томторского месторождения редкоземельных металлов на северо-западе Якутии (Оленекский район) было обнаружено, что радиоактивность на поверхности Томторского массива изменяется от 2 до 22 мкР/ч и имеет природное происхождение, свидетельствующее об отсутствии техногенного заражения почв радионуклидами при проведении поисков и разведки [28].

В ряде работ исследованы почвы урбозооцистем, в которых основное внимание уделяется антропогенному загрязнению почв с наиболее интенсивным движением автотранспорта. На территории г. Якутска обнаружены высокие концентрации Be, Va, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Mo, Cd, Sn, Sb и Ta. Концентрация этих элементов в почве достигает и даже превышает уровень ПДК. Вблизи перекрестков с наиболее интенсивным движением автотранспорта увеличена концентрация свинца и цинка, а также заметные аномалии формируют Hg, Cu, В и Sn [29—31]. Оценка городских почв выявила районы с высоким уровнем загрязнения: ГРЭС и перекрестки улиц Дзержинского и Кальвица. В работе Щелчковой М. В. изучено влияние подвижных форм тяжелых металлов на ферментативную систему почвенных микроорганизмов. Подвижные формы тяжелых металлов представляют наибольшую опасность, например для почвенных микроорганизмов и ферментов. Они мобильны, могут переходить в почвенный раствор и активно участвовать в химических реакциях с органическими и неорганическими компонентами почвы. По мнению авторов, активность ферментов каталазы, уреазы и инвертазы может быть использована для мониторинга загрязнения почв выхлопами автотранспорта и тяжелыми металлами [32—34].

В немногочисленных публикациях рассмотрено состояние окружающей среды и качество

сельскохозяйственной продукции. Мартынов А. А. установил, что накопление ТМ в мышечной ткани жеребят можно использовать как индикатор при экологической оценке сельскохозяйственных биогеоценозов [35]. Кальсина О. И. изучила содержание Hg, Pb, Cd в кормах, а также в органах якутских лошадей и рогатого скота, пасущихся на территории г. Якутска и Сунтарского районов с различным уровнем загрязнения. Автором установлено, что в пригородной зоне г. Якутска концентрация Cd была выше в 2 раза, Hg в 1,5 раз, чем в Сунтарском районе. Содержание Cd в органах и тканях лошадей, выращенных в пригородной зоне г. Якутска, было в 6 раз выше, Pb и Hg в 1,3 раза больше, чем в органах и тканях лошадей Сунтарского района. В органах и тканях якутских лошадей Cd накапливается в 10 раз больше в Сунтарском улусе и в 19 раз выше в пригородной зоне г. Якутска, чем у крупного рогатого скота. Данный факт авторы связывают с тем, что якутские лошади питаются пастбищными растениями круглый год. Установлено, что Cd и Pb аккумулируются в легочной ткани, что указывает на поступление их аэрогенным путем в организм животного. Основными органами-накопителями соединений Hg, Pb и Cd являются почки, печень и кости животных [36].

Имеются работы по оценке состояния окружающей среды по накоплению ТМ в грибах. Попова М. Г. обнаружила, что содержание Pb, Cd, Hg в съедобных грибах пригородной зоны г. Якутска выше, чем в грибах Усть-Алданского и Хангаласского районов. Была выявлена прямая корреляционная связь между концентрацией Hg, Pb, Cd в грибах и в почве [37]. В работе Габышевой Ж. А. исследована более сложная биохимическая цепь, в которой микроэлементы определялись в воде и кормах крупного рогатого скота и лошадей, а также их концентрация в молоке и мышечной ткани в разных природно-климатических регионах Якутии. Автором установлена выраженная зональность содержания и распределения ТМ. При этом содержание Zn, Fe, Mn в исследованных объектах возрастает от южных к северным территориям республики [38]. Также имеется работа по миграции Pb и Cd в трофической цепи почва-растение-северный олень в зоне деятельности горнодобывающей промышленности в Оймяконском районе [39]. Кадмий и свинец накапливаются в кормовых растениях северных оленей в следующей последовательности: шляпочные грибы > кустарники > ягель. Выявлено, что с увеличением возраста происходит накопление ТМ в крови оленей по сравнению с молодняком. Установлено, что концентрация Cd и Pb в органах и тканях убывает в следующем порядке:

почки > печень > сердце > мышечная ткань > легкие.

Известно, что здоровье человека зависит от факторов окружающей среды. С дисбалансом макро- и микроэлементов в экосистемах связана распространенность таких заболеваний, как: железодефицитная анемия, артрозы, мочекаменная болезнь, гипертоническая болезнь, кариесы, патология щитовидной железы, представленной зубной эндемией, в основном в приречных районах Центральной Якутии, где в почве и растительности наблюдается дефицит йода. В единичных работах [40] высказано предположение, что причиной развития вилюйского энцефалита (эндемическое заболевание) может быть геохимическая аномалия литофильных (Mn, Cr, Li) и халькофильных элементов (Cu) в районах тектонических разломов, а Н. Н. Сазонов указывает, что это заболевание может быть связано с высоким содержанием ванадия в почве [41].

В исследованиях Егоровой Г. А. установлено, что распространение элементозов в популяциях населения, проживающего в различных районах Якутии, зависит от природно-географических факторов. Выявлено возрастание поступления химических элементов в организм в направлении юг → север с риском развития гиперэлементозов ТМ (Hg, Cd, Pb) и дисбаланс эссенциальных микроэлементов; в направлении север → юг — риск развития гипозэлементозов [42].

В работе Олесовой Л. Д. в пробах волос жителей г. Удачный было обнаружено избыточное содержание Cr, Sb, Ba (у 100 % из числа обследованных), Al и Ni (у 64 %), недостаток Cu (у 38 %) и Co (у 19 %). Такое содержание ТМ объясняется не только спецификой питания, скоростью метаболических процессов, но и влиянием неблагоприятных экологических, геохимических и производственных факторов алмазодобывающего региона [43].

Влияние биогеохимических факторов среды обитания на здоровье детей алмазодобывающей промышленности было рассмотрено в работе Антипиной У. Д. У детей алмазодобывающего района республики (Нюрбинский и Верхневилуйский) выявлен избыток Cr, Mn, Fe, Na, Mg, K (более, чем на 30 %), Pb (более, чем на 20 %) и недостатка Se, Co, Cu, Zn, P (более, чем на 30 %) и Ca, Mg, Cr (более, чем на 20 %). Данные результаты показали, что природно-техногенные факторы предрасполагают к возникновению у детей макро- и микроэлементных дисбалансов, что обусловлено химическим составом почв и воды. Автором обнаружена прямая связь между содержанием Be и K, Pb и Ni в волосах детей и уровнем их в воде и почве [44].

Человек, занимающий высшее звено в пищевой цепи, может употреблять продукцию животного и растительного происхождения с накопленными в них токсичными веществами, что может отразиться на его здоровье. Об этом свидетельствуют исследования, которые показывают увеличение уровня заболеваемости населения злокачественными новообразованиями в районах с наибольшей техногенной нагрузкой [45, 46].

Анализ литературных данных показал, что исследования накопления ТМ в почвах и растительном покрове затрагивают районы Центральной Якутии. Учитывая тот факт, что Якутия занимает почти 1/5 (3083,5 тыс. км<sup>2</sup>) территории России, следует отметить, что большая часть ее почв и растительного покрова еще не изучена. Исследования, которые велись в 60–70-х гг. под руководством Егорова А. Д., связаны с обеспечением устойчивого производства качественной сельскохозяйственной продукции и рациональным использованием земель с сохранением и повышением плодородия почв и сенокосных угодий. Следует отметить, что работ, связанных с техногенным влиянием на неустойчивые экосистемы

криолитозоны, недостаточно. Имеющиеся немногочисленные публикации в основном касаются только влияния алмазодобывающей промышленности в западной Якутии на экосистему.

Работы, связанные с миграцией тяжелых металлов по пищевой цепи, единичны. В них представлены данные о накоплении ТМ в органах и тканях домашних животных (крупного рогатого скота и лошадей). Однако в Якутии до настоящего времени существует охотничий промысел. Тем не менее в литературе отсутствуют публикации, отражающие содержание ТМ в органах и тканях диких животных и дичи, составляющих немалую долю в рационах питания коренных жителей, особенно в северных районах.

Остаются фактически не изученными вопросы, связанные с поступлением ТМ в организм человека по трофической цепи. Имеются лишь единичные работы о накоплении микроэлементов в волосах жителей Мирнинского и Нюрбинского районов. Дальнейшие исследования в этом направлении должны производиться с использованием современных, более чувствительных и точных методов.

#### Библиографический список

1. Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды // Астраханский вестник экологического образования, № 1 (23), 2013. — С. 182–192.
2. Саввинов Д. Д. Загрязнение природной среды Севера при промышленном освоении (на примере Якутии) // Наука и образование. — 2000. — № 1. — С. 103–106.
3. Егоров А. Д. Химический состав и питательность сена Центральных районов Якутии. Якут. — Якутск. 1959. — 111 с.
4. Егоров А. Д., Полонская Е. П. Минеральная недостаточность кормов в отдельных районах Якутии и пути устранения ее. Научн. сообщ. ЯФ СО АН СССР, 1958, вып. I. — С. 123–127.
5. Габышев М. Ф., Казанский А. В. Кормовые травы Якутии. — Якутск: Якут. КН. изд-во, 1957. — С. 168–169.
6. Тараненко В. С. Производственный опыт общей профилактики заболеваний телят в Якутии // Якут. НИИ вет. станция, 1958, вып. 1. — С. 3–45.
7. Федотов А. И. Полигипомикроэлементозы телят в Якутии // Уч. зап. ЯГУ. — 1962. — Вып. 13. — С. 45–52.
8. Бондаренко Ю. О. Беломышечная болезнь телят в Якутии. — Якутск, 1966. — 40 с.
9. Егоров А. Д., Бондаренко Ю. О. Некоторые особенности обмена веществ у коров и телят в пойменных и аласных местностях Якутии. Якутск, Якуткнигиздат, 1968. — 64 с.
10. Полонская Е. П. Медь в лугопастбищных растениях Центральной Якутии // Биохимические особенности растений Якутии. — М.: Наука, 1964. — С. 6490.
11. Егоров А. Д., Артамонова К. Ф. Алюминий, железо, марганец в растениях и сене // Биохимические особенности растений Якутии. — М.: Наука, 1964. — С. 15–64.
12. Егоров А. Д., Находкина О. С. Цинк, йод и фтор в кормовых травах, сене и воде долины р. Амги // Биохимические особенности растений Якутии. — М.: Наука, 1964. — С. 118–134.
13. Гаврилова С. С. Содержание молибдена в кормовых растениях и кормах // Биохимические особенности растений Якутии. — М.: Наука, 1964. — С. 45.
14. Григорьева Д. В. Бор в луговых растениях, кормах и почвах Центральной Якутии. — М.: Наука, 1967. — 100 с.
15. Курилюк Т. Т. Медь и кобальт в почвах и луговых растениях долины р. Лены: Кн. Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве в медицине Сибири и Дальнего Востока. — Улан-Удэ, 1967. — С. 120–125.
16. Егоров А. Д. Микроэлементы в сельском хозяйстве Якутии. — Якутск, 1967. — 40 с.
17. Егоров А. Д., Григорьева Д. В., Курилюк Т. Т., Сазонов Н. Н. Микроэлементы в почвах и лугопастбищных растениях мерзлотных ландшафтов Якутии. — Якутск, 1970. — 288 с.
18. Егоров А. Д. Биогеохимическое районирование лугопастбищных территорий Якутии на основе биогеохимии ландшафтов // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1968. — Т. 2. — С. 57–65.
19. Покатилова В. В. Содержание микроэлементов в кормовых травах Кобяйского улуса РС (Я) // Проблема сохранения разнообразия растительного покрова Внутренней Азии: Мат-лы Всероссийской научной конференции с межд. уч. — Улан-Удэ, 2004. — С. 98–99.
20. Бурцева Е. И. Геоэкологические аспекты развития Якутии / Е. И. Бурцева. — Новосибирск: Наука, 2006. — 270 с.
21. Макаров В. Н. Эколого-геохимическая оценка техногенного воздействия на окружающую среду Якутии. Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск. 2010. С. 45–48.

22. Чевычелов А. П., Собакин П. И. Миграция  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвенно-растительном покрове объекта аварийного подземного ядерного взрыва «Кратон-3» // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. — С. 64—75.
23. Собакин П. И. Миграция  $^{137}\text{Cs}$  в мерзлотных почвах Якутии // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50. № 5. — С. 590—598.
24. Журавская А. Н., Артамонов С. Ю., Филиппова Г. В. Радионуклиды и тяжелые металлы в системе «радиоактивные отвалы — грунт — растение» и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar) / Сибирский экологический журнал, 2 (2012). — С. 295—303.
25. Саввинов Д. Д. Микроэлементы в северных экосистемах: на примере Республики Саха (Якутия) / Д. Д. Саввинов, Н. Н. Сазонов. — Новосибирск: Наука, 2006. — 208 с.
26. Саввинов Д. Д., Тяптиргянов М. М., Кривошапкин В. Г. и др. Экология реки Вилюй: состояние природной среды и здоровье населения. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1993. — 140 с.
27. Соломонов Н. Г. Фундаментальные и прикладные проблемы экологии и развитие научно-образовательного потенциала Якутии. — Якутск: ЯФ Изд-во СО РАН, 2002. — 608 с.
28. Почвы, растительный и животный мир Юго-Западной Якутии: сб. науч. тр. — Новосибирск: Наука, 2006. — 264 с.
29. Легостаева Я. Б., Макаров В. С. Эколого-геохимическая оценка состояния территории г. Якутска и прогноз дальнейшего развития ситуации // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. — Якутск: ООО «Издательство Сфера», 2010. С. 185—190.
30. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова / Н. Е. Сивцева, Я. Б. Легостаева, В. С. Макаров и др. // Вестник СВФУ, 2011. Том 8, № 2. — С. 30—35.
31. Сивцева Н. Е., Легостаева Я. Б. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова // Вестник СВФУ им. М. К. Аммосова, № 2, Т. 8, 2011. — С. 30—35.
32. Щелчкова М. В., Жерготова М. С. Ферментативная активность мерзлотной лугово-черноземной почвы транспортной зоны «Аэропорт-Якутск» // Наука и образование, 2014, № 2. — С. 14—18.
33. Щелчкова М. В., Жерготова М. С. Влияние выбросов автотранспорта на микрофлору мерзлотных лугово-черноземных почв г. Якутска // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 15. № 3—3, 2013. — С. 1030—1034.
34. Щелчкова М. В. Влияние выбросов Нерюнгринской ГРЭС на окружающую среду // Наука и образование. — Якутск, 1998. № 1. — С. 120—124.
35. Мартынов А. А. Содержание тяжелых металлов в мясе жеребят якутской породы по природно-климатическим зонам Республики Саха (Якутия): автореферат дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Новосибир. Гос. Аграр. ун-т. — Новосибирск, 2005. — 22 с.
36. Кальсина О. И. Соединение ртути, свинца, кадмия в кормах и тканях якутских лошадей и крупного рогатого скота и их остаточные количества в мясопродуктах: автореферат дисс. ... канд. вет. наук: 16.00.06, 16.00.04 / Московский гос. ун-т прикладной биотехнологии. — Москва, 2001. — 18 с.
37. Попова М. Г. Способность дикорастущих съедобных грибов Центральной Якутии аккумулировать тяжелые металлы // Наука и образование, 2011, № 4. — С. 75—77.
38. Габышева Ж. А. Тяжелые металлы в биологических объектах разных природно-климатических территорий Якутии: автореферат дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Якутская с.-х. акад. — Новосибирск, 2001. — 20 с.
39. Таркова М. Д. Миграция свинца и кадмия в трофической цепи «почва-растение-северный олень» в зоне деятельности горнодобывающих предприятий (на примере Оймяконского района Якутии): автореферат дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Новосибирский государственный аграрный университет. — Новосибирск, 2007. — 20 с.
40. Алексеев В. П., Макаров В. Н. География вилюйского энцефаломиелита. — Якутск, 2000. — 110 с.
41. Сазонов Н. Н., Никитина Т. Д. Содержание некоторых микроэлементов в системе почва—растение в районах иодной недостаточности Якутии // Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве Сибири и Дальнего Востока. — Улан-Удэ, 1972. — С. 44—45.
42. Егорова Г. А. Оценка элементного статуса взрослого населения, проживающего в различных медико-географических зонах Республики Саха (Якутия) // Экология человека. — 2007. — № 1. — С. 55—59.
43. Олесова Л. Д. Химический состав волос работников ГОКа «Удачный» / Л. Д. Олесова, Б. Н. Ягнышев // Якутский медицинский журнал. — 2005. — № 2 (10). — С. 25—27.
44. Антипина У. Д. Влияние медико-социальных и биогеохимических факторов среды обитания на здоровье детей алмазодобывающего региона Республики Саха (Якутия): автореферат дисс. ... канд. мед. наук: 14.00.16 / Якутский гос. ун-т им. М. К. Аммосова. — Якутск, 2005. — 24 с.
45. Бывалец О. А. К вопросу о влиянии загрязнения окружающей среды на здоровье человека / Вестник Челябинского государственного университета. 2014. № 4 (333). С. 33—37.
46. Среда обитания и здоровье человека на Севере: Эколого-медицинский аспект / Д. Д. Саввинов, П. Г. Петрова, Ф. А. Захарова и др. — Новосибирск: Наука, 2005. — 291 с.

---

## HEAVY METALS AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN CRYOLITHOZONE CONDITIONS

**A. A. Grigorieva**, Researcher, Yakutsk Scientific Center for Complex Medical Problems (YSC CMP), nastiagrigoryeva@gmail.com, Yakutsk, Russia;

**G. E. Mironova**, Ph. D. (Biochemistry), Dr. Habil, Professor, mirogalin@mail.ru;

**L. D. Olesova**, Ph. D. (Ecology), Leading Researcher, oles59@mail.ru;

**Z. N. Krivoshapkina**, Ph. D. (Physiology), Senior Researcher, zoyakriv@mail.ru;

**E. I. Semenova**, Ph. D. (Physiology), Senior Researcher, kunsuntar@mail.ru;

**A. V. Efremova**, Ph. D. (Biochemistry), Senior Researcher, a.efremova@mail.ru;

**L. I. Konstantinova**, Researcher, konstanta.l@mail.ru;

**A. I. Yakovleva**, Researcher, sashyak@mail.ru;

**E. D. Okhlopkova**, Ph. D. (Physiology), elena\_ohlopkova@mail.ru, Yakutsk Scientific Center for Complex Medical Problems (YSC CMP), Yakutsk, Russia

## References

1. Teplaya G. A. Tyazhelye metally kak faktor zagryazneniya okruzhayushey sredy [Heavy metals as a factor in environmental pollution] *Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013. No. 1 (23). P. 182–192. [in Russian]
2. Savvinov D. D. Zagryaznenie prirodnoj sredy Severa pri promyshlennom osvoenii (na primere Yakutii) [Pollution of the natural environment of the North during industrial development: a case study of Yakutia] *Nauka i obrazovanie*. 2000. No. 1. P. 103–106. [in Russian]
3. Egorov A. D. Himicheskij sostav i pitatel'nost' sena Centralnyh rajonov Yakutii. [Chemical composition and nutritional value of hay in the central regions of Yakutia]. Yakutsk, 1959. 111 p. [in Russian]
4. Egorov A. D., Polonskaya E. P. Mineral'naya nedostatochnost' kormov v otdelnyh rajonah Yakutii i puti ustraneniya ee [Mineral deficiency of feed in certain areas of Yakutia and ways to eliminate it]. *Nauchn. soobsh. YaF SO AN SSSR*, 1958. No. 1. P. 123–127. [in Russian]
5. Gabyshev M. F., Kazanskij A. V. Kormovye travy Yakutii. [Yakutia feed grass]. — Yakutsk, Yakut. KN. izd-vo. 1957. P. 168–169. [in Russian]
6. Taranenko V. S. *Proizvodstvennyj opyt obshej profilaktiki zabojevanij telyat v Yakutii* [Production experience of general prevention of calf diseases in Yakutia]. Yakut. NII vet. stantsiya, 1958. No. 1. P. 3–45. [in Russian]
7. Fedotov A. I. Poligipomikroelementozy telyat v Yakutii [Polygypomicroelementoses calves in Yakutia]. *Uch. zap. YaGU*. 1962. No. 13. — P. 45–52. [in Russian]
8. Bondarenko Yu. O. Belomyshechnaya bolezn' telyat v Yakutii. [White muscle disease calves in Yakutia]. Yakutsk, 1966. 40 p. [in Russian]
9. Egorov A. D., Bondarenko Yu. O. Nekotorye osobennosti obmena veshestv u korov i telyat v pojmennyh i alasnyh mestnostyah Yakutii. [Some features of the metabolism of cows and calves in the floodplain and alas areas of Yakutia]. Yakutsk, Yakutknigizdat, 1968. 64 p. [in Russian]
10. Polonskaya E. P. Med v lugopastbishnyh rasteniyah Centralnoj Yakutii [Copper in grassland plants of Yakutia]. *Biohimicheskije osobennosti rastenij Yakutii*. Moscow, Nauka, 1964. P. 6490. [in Russian]
11. Egorov A. D., Artamonova K. F. Alyuminij, zhelezo, marganec v rasteniyah i sene [Aluminum, iron, manganese in plants and hay]. *Biohimicheskije osobennosti rastenij Yakutii*. Moscow, Nauka, 1964. P. 15–64. [in Russian]
12. Egorov A. D., Nakhodkina O. S. Cink, jod i fluor v kormovyh travah, sene i vode doliny r. Amgi [Zinc, iodine and fluorine in feed grasses, hay and water of the valley of the r. Amgi]. *Biohimicheskije osobennosti rastenij Yakutii*. Moscow, Nauka, 1964. P. 118–134. [in Russian]
13. Gavrilova S. S. Soderzhanie molibdena v kormovyh rasteniyah i kormah [Molybdenum content in fodder plants and feed]. *Biohimicheskije osobennosti rastenij Yakutii*. Moscow, Nauka, 1964. P. 45. [in Russian]
14. Grigoreva D. V. Bor v lugovyh rasteniyah, kormah i pochvah Centralnoj Yakutii. [Boron in meadow plants, feed and soil of Central Yakutia]. Moscow, Nauka, 1967. 100 p. [in Russian]
15. Kurilyuk T. T. Med i kobalt v pochvah i lugovyh rasteniyah doliny r. Lena: Kn. Mikroelementy v biosfere i ih primenenie v sel'skom hozyajstve v medicine Sibiri i Dal'nego Vostoka. [Copper and cobalt in the soil and meadow plants of the valley r. Lena: KN. Trace elements in the biosphere and their use in agriculture in medicine of Siberia and the Far East]. Ulan-Ude, 1967. P. 120–125. [in Russian]
16. Egorov A. D. Mikroelementy v sel'skom hozyajstve Yakutii. [Trace elements in agriculture of Yakutia]. Yakutsk, 1967. 40 p. [in Russian]
17. Egorov A. D., Grigoreva D. V., Kurilyuk T. T., Sazonov N. N. Mikroelementy v pochvah i lugopastbishnyh rasteniyah merzlotnyh landshaftov Yakutii. [Trace elements in soils and grassland plants of the permafrost landscapes of Yakutia]. Yakutsk, 1970. 288 p. [in Russian]
18. Egorov A. D. Biogeochemicheskoe rajonirovanie lugopastbishnyh territorij Yakutii na osnove biogeochemii landshaftov [Biogeochemical zoning of grassland areas of Yakutia based on landscape biogeochemistry]. *Mikroelementy v sel'skom hozyajstve i medicine*. Ulan-Ude, Buryat. kn. izd-vo. 1968. Vol. 2. P. 57–65. [in Russian]
19. Pokatilova V. V. Soderzhanie mikroelementov v kormovyh travah Kobyajskogo ulusa RS (Ya) [The content of trace elements in forage grasses of Kobyai ulus RS (Y)]. *Problema sohraneniya raznoobraziya rastitelnogo pokrova Vnutrennej Azii: Mat-ly Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhd. uch. Ulan-Ude*, 2004. P. 98–99. [in Russian]
20. Burceva E. I. Geoekologicheskie aspekty razvitiya Yakutii [Geoecological aspects of the development of Yakutia]. Novosibirsk, Nauka, 2006. 270 p. [in Russian]
21. Makarov V. N. Ekologo-geohimicheskaya ocenka tehnogennogo vozdejstviya na okruzhayushuyu sredyu Yakutii [Ecological and geochemical assessment of anthropogenic impact on the environment of Yakutia]. Institut merzlotovedeniya SO RAN, Yakutsk. 2010. P. 45–48. [in Russian]
22. Chevychelov A. P., Sobakin P. I. Migraciya  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v pochvenno-rastitel'nom pokrove obekta avarijnogo podzemnogo yadernogo vzryva "Kraton-3" [Migration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the soil and vegetation cover of the object of an emergency underground nuclear explosion "Kraton-3"]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2017. No. 6. P. 64–75. [in Russian]
23. Sobakin P. I. Migraciya  $^{137}\text{Cs}$  v merzlotnyh pochvah Yakutii [Migration  $^{137}\text{Cs}$  in the frozen soils of Yakutia]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2010. Vol. 50. No. 5. P. 590–598. [in Russian]
24. Zhuravskaya A. N., Artamonov S. Yu., Filippova G. V. Radionuklidy i tyazhelye metally v sisteme "radioaktivnye otvaly — grunt — rastenie" i ih vliyanie na semennoe potomstvo olhovnika kustarnikovogo (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar). [Radionuclides and heavy metals in the system "radioactive waste dumps — soil — plant" and their influence on seed offspring of alder shrub (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar)]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. No. 2. 2012. P. 295–303. [in Russian]

25. Savvinov D. D. Mikroelementy v severnyh ekosistemah: na primere Respubliki Saha (Yakutiya) [Trace elements in northern ecosystems: a case study of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Novosibirsk, Nauka, 2006. 208 p. [in Russian]
26. Savvinov D. D., Tyaptirgvanov M. M., Krivoshapkin V. G. et al. Ekologiya reki Vilyuj: sostoyanie prirodnoj sredy i zdorove naseleniya. [Ecology of the Vilyui River: state of the environment and public health]. Yakutsk, YaNC SO RAN. 1993. 140 p. [in Russian]
27. Solomonov N. G. Fundamentalnye i prikladnye problemy ekologii i razvitie nauchno-obrazovatel'nogo potentsiala Yakutii. [Fundamental and applied problems of ecology in the development of the scientific and educational potential of Yakutia]. Yakutsk, YaF Izd-vo SO RAN. 2002. 608 p. [in Russian]
28. Pochvy, rastitel'nyj i zhivotnyj mir Yugo-Zapadnoj Yakutii: sb. nauch. tr. [Soils, flora and fauna of South-Western Yakutia: *Sat. scientific tr.*]. Novosibirsk, Nauka, 2006. 264 p. [in Russian]
29. Legostaeva Ya. B., Makarov V. S. Ekologo-geohimicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutska i prognoz dal'nego razvitiya situatsii [Ecological and geochemical assessment of the state of the territory of Yakutsk and forecast of further development of the situation]. *Nauchnoe obespechenie resheniya klyuchevykh problem razvitiya g. Yakutska*. Yakutsk, OOO "Izdatel'stvo Sfera", 2010. P. 185–190. [in Russian]
30. Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutska po summarnomu pokazatelyu zagryazneniya pochvennogo pokrova / N. E. Sivceva, Ya. B. Legostaeva, V. S. Makarov i dr. [Environmental assessment of the state of the territory of Yakutsk in terms of total pollution of the soil cover]. *Vestnik SVFU*. 2011. Vol. 8. No. 2. P. 30–35. [in Russian]
31. Sivceva N. E., Legostaeva Ya. B. Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutska po summarnomu pokazatelyu zagryazneniya pochvennogo pokrova [Environmental assessment of the state of the territory of Yakutsk in terms of total pollution of the soil cover]. *Vestnik SVFU im. M. K. Ammosova*. No. 2, Vol. 8. 2011. P. 30–35. [in Russian]
32. Shelchkova M. V., Zhergotova M. S. Fermentativnaya aktivnost merzlotnoj lugovo-chernozemnoj pochvy transportnoj zony "Aeroport-Yakutsk" [Enzymatic activity of the permafrost meadow chernozem soil of the Airport-Yakutsk transport zone]. *Nauka i obrazovanie*. 2014. No. 2. P. 14–18. [in Russian]
33. Shelchkova M. V., Zhergotova M. S. Vliyanie vybrosov avtotransporta na mikrofloru merzlotnykh lugovo-chernozemnykh pochv g. Yakutska [The impact of vehicle emissions on the microflora of permafrost meadow chernozem soils of Yakutsk]. *Izvestiya Samar'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. Vol. 15. No. 3–3. 2013. P. 1030–1034. [in Russian]
34. Shelchkova M. V. Vliyanie vybrosov Neryungrinskoj GRES na okruzhayushuyu sredu [Impact of emissions from Neryungri GRES on the environment]. *Nauka i obrazovanie*. Yakutsk, 1998. No. 1. P. 120–124. [in Russian]
35. Martynov A. A. Soderzhanie tyazhelykh metallov v myase zherebyat yakutskoj porody po prirodno-klimaticheskim zonam Respubliki Saha (Yakutiya): avtoreferat diss. ... kand. biol. nauk: 03.00.16 / Novosib. Gos. Agrar. un-t [The content of heavy metals in the meat of Yakut breed foals by natural-climatic zones of the Republic of Sakha (Yakutia): *Thesis abstract for Ph. D. in Biology*: 03.00.16. Novosibirsk. State Agrar. un-t]. Novosibirsk, 2005. 22 p. [in Russian]
36. Kalsina O. I. Soedinenie rtuti, svinca, kadmiya v kormah i tkanyah yakutskikh loshadej i krupnogo rogatogo skota i ih ostatochnye kolichestva v myasoproduktah: avtoreferat diss. ... kand. vet. nauk: 16.00.06, 16.00.04 / Moskovskij gos. un-t prikladnoj biotekhnologii. [Compound of mercury, lead, cadmium in feed and fabrics of Yakut horses and cattle and their residual amounts in meat products: *Thesis abstract for Ph. D. in Veterinary Medicine*: 16.00.06, 16.00.04 / Moscow State University of Applied Biotechnology]. Moscow. 2001. 18 p. [in Russian]
37. Popova M. G. Sposobnost dikorastushih sedobnykh gribov Centralnoj Yakutii akumulirovat tyazhelye metally [The ability of wild-growing edible mushrooms of Central Yakutia to accumulate heavy metals]. *Nauka i obrazovanie*. 2011. No. 4. P. 75–77. [in Russian]
38. Gabysheva Zh. A. Tyazhelye metally v biologicheskikh objektah raznykh prirodno-klimaticheskikh territorij Yakutii: avtoreferat diss. ... kand. biol. nauk: 03.00.16 / Yakutskaya s.-h. akad. [Heavy metals in biological objects of different natural-climatic territories of Yakutia: *Thesis abstract for Ph. D. in Biology*: 03.00.16 / Yakutskaya s.-h. acad]. Novosibirsk, 2001. 20 p. [in Russian]
39. Tarkova M. D. Migratsiya svinca i kadmiya v troficheskoj cepi "pochva-rastenie-severnyj olen" v zone deyatel'nosti gornodobyvayushih predpriyatij (na primere Ojmyakonskogo rajona Yakutii): avtoreferat diss. ... kand. biol. nauk: 03.00.16 / Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. [Migration of lead and cadmium in the food chain "soil-plant-reindeer" in the area of activity of mining enterprises (a case study of the Oymyakonsky district of Yakutia): *Thesis abstract for Ph. D. in Biology*: 03.00.16 / Novosibirsk State Agrarian University]. Novosibirsk, 2007. 20 p. [in Russian]
40. Alekseev V. P., Makarov V. N. Geografiya vilyujskogo encefalomeolita. [Geography of Vilyui encephalomeolith]. Yakutsk, 2000. 110 p. [in Russian]
41. Sazonov N. N., Nikitina T. D. Soderzhanie nekotorykh mikroelementov v sisteme pochva-rastenie v rajonah iodnoj nedostatochnosti Yakutii [The content of some trace elements in the soil-plant system in areas of iodine deficiency in Yakutia]. *Mikroelementy v biosfere i primenenie ih v selskom hozyajstve Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Ulan-Ude, 1972. P. 44–45. [in Russian]
42. Egorova G. A. Ocenka elementnogo statusa vzroslogo naseleniya, prozhivayushogo v razlichnykh mediko-geograficheskikh zonah Respubliki Saha (Yakutiya) [Evaluation of the elemental status of the adult population living in different medical-geographical zones of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Ekologiya cheloveka*. 2007. No. 1. P. 55–59. [in Russian]
43. Olesova L. D. Himicheskij sostav volos rabotnikov GOKA "Udachnyj" [The chemical composition of the workers' hair from "Udachninskij"]. *Yakutskij medicinskij zhurnal*. 2005. No. 2 (10). P. 25–27. [in Russian]
44. Antipina U. D. Vliyanie mediko-socialnykh i biogeohimicheskikh faktorov sredy obitaniya na zdorovya detejalmazodobyvayushogo regiona Respubliki Saha (Yakutiya): avtoreferat diss. ... kand. med. nauk: 14.00.16 / Yakutskij gos. un-t im. M. K. Ammosova. Yakutsk, 2005. 24 p.
45. Byvalets O. A. K voprosu o vliyani zagryazneniya okruzhayushhej sredy na zdorove cheloveka [On the issue of the impact of environmental pollution on human health]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 4 (333). P. 33–37. [in Russian]
46. Sreda obitaniya i zdorove cheloveka na Severe: Ekologo-medicinskij aspekt / D. D. Savvinov, P. G. Petrova, F. A. Zakharova i dr. [Habitat and human health in the North: Ecological and medical aspect]. Novosibirsk, Nauka, 2005. 291 p. [in Russian]

## МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА В РАЙОНЕ ПЕРЕХОДА ГАЗОПРОВОДА «БОВАНЕНКОВО-УХТА» ЧЕРЕЗ БАЙДАРАЦКУЮ ГУБУ КАРСКОГО МОРЯ

**Н. Г. Белова**, к. г. н., н. с., географический ф-т МГУ имени М. В. Ломоносова, nataliya-belova@yandex.ru, Москва, Россия,  
**С. А. Огородов**, профессор РАН, д. г. н., в. н. с., географический ф-т МГУ имени М. В. Ломоносова, s.ogorodov@mail.ru, Москва, Россия,  
**О. С. Шилова**, к. г. н., н. с., географический ф-т МГУ имени М. В. Ломоносова, o.olyunina@mail.ru, Москва, Россия,  
**А. В. Новикова**, аспирант, географический ф-т МГУ имени М. В. Ломоносова, annamsu17@gmail.com, Москва, Россия,  
**Д. М. Алексютина**, к. г.-м. н., н. с., географический ф-т МГУ имени М. В. Ломоносова, aleksyutina@gmail.com, Москва, Россия

Берега Байдарачкой губы Карского моря сложены преимущественно дисперсными многолетнемерзлыми отложениями. По данным многолетнего полевого мониторинга Ямальского побережья губы, ведущегося сотрудниками Лаборатории геоэкологии Севера МГУ с конца 1980-х гг. на участке берегового примыкания подводного перехода газопровода, а также по результатам анализа спутниковых снимков, средняя многолетняя скорость отступления бровки термоабразионных уступов составляет 0,4 м/год. При прочих равных геокриологических и литолого-геоморфологических условиях скорости отступления береговой линии меняются год от года в зависимости от таких гидрометеорологических факторов, как частота и сила штормов, продолжительность безледного периода, сумма годовых положительных температур воздуха. После начала строительства перехода газопроводов через Байдарачкую губу в 2007 г. имевшие место техногенные нарушения значительно изменили температурный и литодинамический режимы береговой зоны. На суше деградация растительного покрова в результате проезда тяжелой техники вызвала активизацию термоэрозионных процессов и дефляции. Изъятие песчаного материала с пляжей и берегового барьера привело к изменению поперечного профиля береговой зоны, к снижению устойчивости берегов к размыву. Эти изменения происходили на фоне потепления климата и снижения ледовитости, проявившихся в росте термического и волно-энергетического воздействия на береговые системы.

The coasts of the Baydaratskaya Bay are composed of frozen sediments. At the Yamal Peninsula, coastal dynamics monitoring is carried out by the laboratory of geoeology of the North of Moscow State University at the offshore gas pipeline crossing the site since the late 1980s. The average long-term retreat rate of the coastal bluffs is 0.4 m/year, according to the results of field monitoring combined with remote sensing methods. The erosion rate at the sites with similar topography and permafrost conditions varies from year to year, depending on hydro-meteorological parameters such as frequency and intensity of storms, the duration of the ice-free period, the sum of annual positive air temperatures. After the start of the construction of the offshore gas pipelines across the Baydaratskaya Bay in 2007, technogenic disturbances significantly changed temperature and lithodynamic regimes of the coastal zone. On land, the degradation of vegetation cover as a result of the passage of heavy vehicles caused the activation of thermoerosion processes and deflation. The excavation of sandy material at beaches and barriers has led to a change of the cross profile of the coastal zone, the stability of the coasts to erosion has decreased. These changes took place under the conditions of climate warming and decrease of ice cover, which led to the growth of thermal and wave impact on coastal systems.

**Ключевые слова:** берега, сложенные многолетнемерзлыми породами, динамика арктических берегов, мониторинг.

**Keywords:** permafrost coasts, arctic coastal dynamics, monitoring.

**Введение.** Дисперсные многолетнемерзлые породы слагают 65 % берегов Северного Ледовитого океана [1]. Среднемноголетние скорости отступления этих берегов обычно составляют 0,5—2 м в год [2]. Изменчивость темпов разрушения вдоль арктического побережья (от 0,1 до 5 м в год и более) обусловлена различиями в геологическом и геоморфологическом строении берега (составом и льдистостью отложений, экспозицией и высотой склонов, формой поперечного профиля береговой зоны и др.) и гидрометеорологических условиях (параметрами ветра и волн, температурой воздуха и воды, площадью и длительностью периода распространения морских льдов).

Частота и сила штормов играют определяющую роль в межгодовой изменчивости скоростей отступления берегов [2, 3]. Современные климатические изменения, особенно ярко проявляющиеся в Арктике, способствуют росту темпов разрушения берегов [1, 2, 4—7]. Основными факторами, влияющими на скорость разрушения берегов при потеплении, являются увеличение продолжительности безледного периода и обусловленные им изменения волнового климата [3]. Взятые отдельно летние температуры в большинстве случаев плохо коррелируют со скоростями термоабразии [3—5]. Однако температурный фактор влияет на локальный рост скоростей отступления сильнольдистых сегментов берега [8].

**Район работ.** Байдарачкая губа представляет собой мелководный (с глубинами

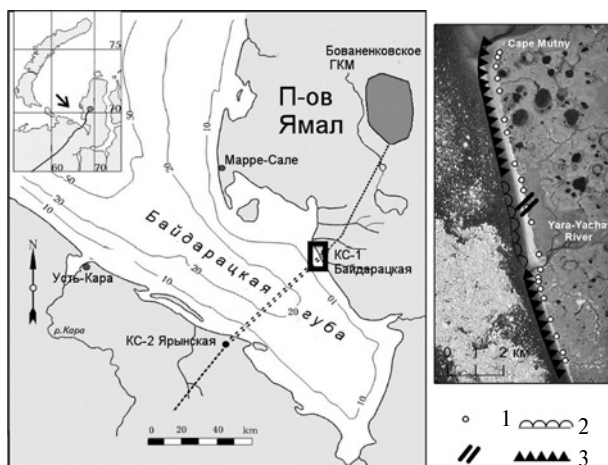


Рис. 1. Район исследования. Участок мониторинга динамики берегов выделен прямоугольником. Двойной пунктирной линией показана трасса подводного перехода Байдарацкой губы Карского моря магистральными газопроводами Ямал-Ухта.

Условные обозначения: 1 — профили сети мониторинга, 2 — аккумулятивные берега, 3 — термоабразионные берега, 4 — коффердамы

до 30 м) залив в юго-западной части Карского моря (рис. 1), в прошлом — дельта пра-Оби [9]. К концу позднего неоплейстоцена уровень моря был ниже современных отметок дна губы; залив сформировался в нынешних очертаниях в результате голоценовой трансгрессии моря. Поднятие уровня моря активизировало процессы разрушения берегов. Темпы изменения уровня моря и колебания ледовитости обусловили современный рельеф дна Байдарацкой губы. Быстрая трансгрессия моря при значительной ледовитости приводила к слабой волновой переработке затапливаемых береговых форм. Напротив, при медленной трансгрессии и малой ледовитости рельеф мелководья был значительно переработан, избытки в целом повторяют очертания современной береговой линии [9]. Байдарацкая губа образует самостоятельный литодинамический Байдарацкий район, один из четырех литодинамических районов в юго-западном секторе Карского моря. Вдоль современной береговой линии губы чередуются термоабразионные (высотой до 40 м) и аккумулятивные берега. Отложения береговых уступов сложены дисперсными породами, сформированными преимущественно в среднем и позднем неоплейстоцене и голоцене [10, 11]. Исследуемая территория расположена в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. С поверхности развиты сквозные и несквозные подошвенные и подрусовые талики, а по разрезу мерзлые породы чередуются с линзами и массивами охлажденных пород и криопеггов [12].

Глубина слоя годовых колебаний температуры составляет 10—12 м. Наиболее высокие температуры пород на глубине нулевых годовых колебаний ( $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдаются на периодически затапливаемых участках (поймах и лайдах), тогда как среднегодовая температура пород на высоких поверхностях составляет  $-6...-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  [13].

**История исследований.** Систематические исследования природных условий вдоль трассы трубопровода «Ямал-Центр» начались в 1988 г. работами арктической морской инженерно-геологической экспедиции (АМИГЭ), НИЛ геоэкологии Севера (НИЛГЭС) географического ф-та МГУ и других организаций. По результатам комплексных работ 1990—1996 гг., проведенных ИПО «Эко-Система», была составлена монография [12], характеризующая различные аспекты природных условий побережья и акватории Байдарацкой губы. Мониторинг динамики берегов в районе береговых примыканий трубопровода был начат сотрудниками НИЛГЭС еще в 1988 гг. [9, 14].

**Методы мониторинга динамики берегов.** В конце 1980-х гг. на обоих берегах губы в районе планируемого створа примыкания трубопроводов была установлена сеть реперов (КС-1 Байдарацкая на рис. 1). В створах реперов в разные периоды времени методом тригонометрического нивелирования отрисовывался профиль береговой зоны от бровки уступа на суше и примерно до внешнего края приливной зоны в море. Сопоставление профилей разных лет позволило количественно охарактеризовать динамику различных типов берегов. На ямальском берегу прямые измерения проводились в 1990, 1991, 1993, 1997, 2005, 2006, 2007, 2009, 2012 и 2013 гг. (17 профилей), параллельно восстанавливались утраченные и закладывались новые профили сети мониторинга. Полевые работы проводились совместно сотрудниками НИЛГЭС и Государственного океанографического института имени Н. Н. Зубова (ГОИН). Помимо прямых наблюдений, скорости отступления берегов определялись с использованием материалов разновременных космоснимков высокого разрешения (рис. 2): Corona CH4, разрешение 2,2 м, 1968 г., QuickBird-2, разрешение 0,5 м, 2005 г. и WorldView-3, разрешение 0,3 м, 2016 г. (снимок предоставлен ©Digital Globe Foundation). Это позволило с высокой точностью установить пространственную и временную изменчивость динамики берегов не по отдельным профилям, а по побережью в целом. Использование дистанционных методов делает результаты независимыми от ошибки, возникающей от дискретности расположения профилей полевого мониторинга. В то же время результаты многолетних по-

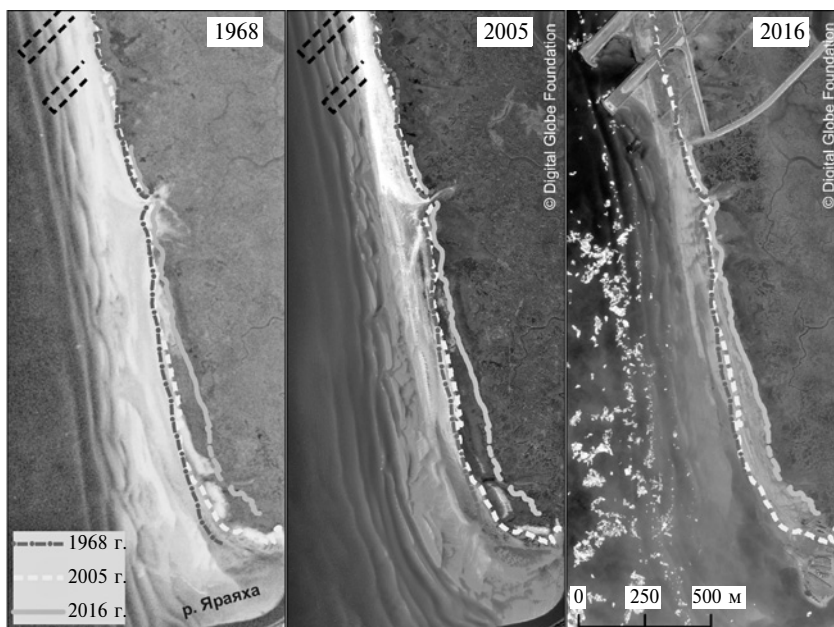


Рис. 2. Изменение границы ляды к северу от устья р. Яра-Яхи на Западном Ямале.

Линиями показано положение границы ляды, определенное по снимкам 1968 (Corona CH4, разрешение 2,2 м), 2005 (QuickBird-2, разрешение 0,5 м) и 2016 гг. (WorldView-3, разрешение 0,3 м)

левых наблюдений нужны как для характеристики строения береговых уступов, так и для проверки результатов дешифрирования космоснимков.

**Строение береговой зоны.** Мониторинг динамики берегов проводился на участке от м. Мутный на севере до устья р. Лыяха на юге (16 км, см. рис. 1). Вершинные поверхности выходят к берегу моря на севере и юге участка, образуя абразионно-термоденудационные уступы высотой 8–12 м к югу от м. Мутный и 22–28 м к югу от устья р. Яра-Яхи. Они сложены достаточно однородной по составу толщей малольдистых песчаных отложений [10]. В центральной части исследуемого участка, в пределах которой проложена система трубопроводов, берег представлен голоценовым береговым барьером высотой 1,6–2,1 м (до начала строительства), который плавно снижается в сторону суши и переходит в ляду и лагуну. Береговой барьер с поверхности сложен песками с массивной криогенной текстурой, которые подстилаются переслаивающейся толщей суглинков и супесей с льдистостью в верхних частях 25–30 % и уменьшающейся вниз по разрезу, мощность супесчано-суглинистой толщи до 25 м [13]. Геофизические исследования [15] в пределах берегового барьера, заверенные буровыми работами [12, 13], показали наличие мерзлого ядра мощностью до 5–7 м. На ляде и в пределах лагуны засоленность мерзлых и охлажденных грунтов чрезвычайно изменчива ( $D_{sal}$  от 0,1 до 3,3 % [13]). На участках с сильной засоленностью породы находятся в охлажденном состоянии [12, 13].

Берег рассматриваемого участка защищен от воздействия северных и отчасти северо-западных ветров островами Марресальские Кошки. Вдольбереговой поток наносов направлен от устья р. Яра-Яхи к северу до м. Мутный, где происходит их разгрузка и формируется широкая осушка. В дельте р. Яха-Яха миграция наносов двусторонняя, при этом большая часть аккумулируется с северной стороны дельты, также формируя широкие осушки.

### Результаты и обсуждение

**Динамика термоабразионных берегов.** Песчаные уступы с высотами 10–25 м имеют в районе исследований небольшую объемную льдистость, в среднем 20–40 % [12]. За период 1988–2009 гг. средние скорости отступления термоабразионных участков по данным полевых наблюдений составили 0,4 м/год для северного участка и 0,5 м/год для южного участка (см. рис. 1). В 2009–2012 гг. после начала активной фазы строительства ситуация несколько изменилась. Ускорило отступление северного абразионного сегмента на протяжении 2 км, прилегающих к береговому барьеру, скорости за 2009–2012 гг. составили 1,3–5 м/год при темпах 0,1–0,3 м/год за 1988–2009 гг. Усилилась и абразия берега на протяжении 1 км к югу от устья р. Яра-Яхи, чему, вероятно, способствовали дноуглубительные работы в устье. Здесь скорости составили до 2,3–7,9 м/год за 2009–2012 гг. при значениях 0,3–1,2 м/год за 1988–2009 гг. За 2012–2013 гг. на обоих рас-

смаатриваемых участках берег стабилизировался за счет прекращения активной фазы строительства и искусственной «подпитки» наносами пляжа вдоль берегового барьера.

Сходные результаты получены при анализе разновременных космоснимков (таблица). В северной части на протяжении 2,9 км к югу от м. Мутный термоабразионные уступы высотой 7–11 м с полигонально-жильными льдами (ПЖЛ) разрушались неравномерно со средневзвешенной скоростью 0,2 м/год в 1968–2005 гг. и 0,9 м/год в 2005–2016 гг. В южной части на протяжении 1,4 км к югу от устья р. Яра-Яхи берега высотой 8–12 м в те же периоды отступали со средней скоростью 0,4 и 0,5 м/год соответственно. Южнее более высокие (17–25 м) песчаные уступы с ПЖЛ в указанные периоды разрушались со скоростями 0,3 и 0,6 м/год (длина берегового сегмента 3,3 км). Таким образом, на обоих участках термоабразионного берега в 2005–2016 гг. произошел рост скоростей отступления (в ~2 раза в южной части и в 4,5 раза в северной). Различие в темпах отступления береговых уступов может быть связано с положением северного сегмента на мысу. Кроме того, вероятно, что в более теплый период значительный рост скоростей отступления северного сегмента обусловлен тем, что в его низких уступах ПЖЛ встречаются чаще, чем в южной части. Однако при общих низких скоростях отступления (средневзвешенная скорость вдоль побережья 0,4 м в год за 48 лет) сложно выделить влияние отдельных факторов динамики берегов.

**Динамика аккумулятивного берега.** До начала строительства берегового примыкания системы трубопроводов в 2008 г. аккумулятивный берег на

протяжении 3,5 км к северу от устья р. Яра-Яхи постепенно отступал — граница берегового барьера смещалась в сторону лайды (см. рис. 2). Для защиты от воздействия морских льдов и волн над нитками трубопровода был возведен коффердам. С южной стороны он образовал входящий угол, активно заполняющийся наносами. В результате к 2012 г. осушка расширилась на 40 м к югу от коффердама и сузилась на 50 м к северу от него. Дефицит наносов, активизировавший отступление абразионных уступов к северу от берегового барьера, обусловлен перехватом вдольберегового потока наносов коффердамом и изъятием песчаного материала с пляжа и осушки на участке от района строительства до устья р. Яра-Яхи. Сам береговой барьер за период 2007–2012 гг. значительно деградировал, прежде всего за счет изъятия наносов с пляжа и мелководья. В 2012 г. его максимальные абсолютные отметки не превышали 1,2 м (БС-77) против 1,6–2,1 м до начала строительства. Вероятно, мерзлое ядро берегового барьера подверглось частичному протаиванию. В результате многократных проездов тяжелой техники в плотных торфяно-песчаных отложениях барьера начал формироваться береговой уступ. В 2011–2012 гг. берег в районе коффердама был укреплен гибкими бетонными матами, что несколько замедлило размыв, однако уже в 2012 г. наблюдались значительные деформации этих берегозащитных сооружений. Значительных изменений рельефа берегового барьера за 2012–2013 гг. не произошло. В 2013 г. на отдельных участках к югу от берегового примыкания подводного перехода газопровода отмечено увеличение высоты берегового барьера на 0,2–0,6 м по сравнению с 2012 г. Возможно, в условиях снижения техно-

#### Среднеголетние скорости отступления бровки берегового уступа, полученные по результатам дешифрирования спутниковых снимков

Профили	Высота уступа, м	Отложения, преобладающие в береговом уступе	Протяженность сегмента вдоль берега, км	Скорость отступления, м/год			Рост скоростей отступления в 2005–2016 по сравнению с 1968–2005, д.е.
				1968–2005	2005–2016	1968–2016	
Северный термоабразионный участок (к югу от мыса Мутный)							
У2-У5	7–11	пески с ПЖЛ	2,9	0,2	0,9	0,4	4,7
Южный термоабразионный участок (к югу от устья р. Яра-Яха)							
У11-У14	8–12	пески, в основании уступа — валунные суглинки	1,4	0,4	0,5	0,4	1,3
У15-У19	17–25	пески, местами с ПЖЛ	3,3	0,3	0,6	0,4	2,0
				В среднем по побережью:			
				0,3	0,7	0,4	2,5

генного воздействия и постоянной искусственной подпитки пляжа наносами береговой барьер начал постепенно восстанавливаться. Однако при сопоставлении космоснимков 2005 и 2016 гг. установлено, что за этот период граница берегового барьера и лайды продвинулась на 100 м в сторону суши.

### Заключение

1. Аккумулятивный берег в пределах исследованного участка до начала строительства перехода системы магистральных трубопроводов был относительно стабилен — его динамика соответствовала скоростям отступления двух обрамляющих его термоэрозионных участков. В период строительства продвижение бровки берегового барьера в сторону лайды ускорилось в результате техногенных воздействий, составив 100 м за 11 лет (2005—2016 гг.).

2. Термоабразионные берега указанного участка отступают со среднемноголетней скоростью 0,4 м в год за 48 лет (средневзвешенная величина для 7,6 км побережья). В 2005—2016 г. скорости отступления возросли по сравнению с периодом 1968—2005 гг. в 4,5 раза для северной части района работ и в 2 раза для южной. Причина может быть как в достаточно теплых годах с суммами годовых положительных температур выше среднемноголетних, так и в техногенном воздействии. При столь низких величинах скоростей отступления береговых уступов сложно достоверно выделить влияние отдельных факторов динамики берегов.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 16-35-60099 мол\_а\_дк.*

*Авторы благодарны фонду ©Digital Globe Foundation за предоставленные данные дистанционного зондирования.*

### Библиографический список

1. Lantuit H., Overduin P. P., Couture N. et al. The Arctic Coastal Dynamics database: a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines, *Estuaries and Coasts*, 2012, 35: 383—400.
2. Forbes D. L. (editor), *State of the Arctic Coast 2010 — Scientific Review and Outlook*. IASC, LOICZ, AMAP, IPA. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany, 2011, 178 p.
3. Арэ Ф. Э. Разрушение берегов арктических приморских низменностей. — Новосибир.: Акад. изд-во «Гео», 2012. — 291 с.
4. Огородов С. А. Роль морских льдов в динамике берегов. Москва: Издательство Московского ун-та, 2011, 173 стр.
5. Ogorodov S., Baranskaya A., Belova N. et al. Coastal dynamics of the Pechora and Kara Seas under changing climatic conditions and human disturbances // *Geography, Environment, Sustainability*. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 53—73.
6. Васильев А. А., Стрелецкая И. Д., Черкашев Г. А., Ванштейн Б. Г. Динамика берегов Карского моря // *Криосфера Земли*, 2006, т. X, № 2, С. 56—67.
7. Васильев А. А., Широков Р. С., Облогов Г. Е., Стрелецкая И. Д. Динамика морских берегов Западного Ямала // *Криосфера Земли*, 2011, 15 (4): 72—75.
8. Белова Н. Г., Шабанова Н. Н., Огородов С. А., Камалов А. М., Кузнецов Д. Е., Баранская А. В., Новикова А. В. Динамика термоабразионных берегов Карского моря в районе мыса Харасавэй (Западный Ямал) // *Криосфера Земли*, 2017, Т. 21, № 6, стр. 85—96.
9. Камалов А. М., Огородов С. А., Бирюков В. Ю. и др. Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // *Криосфера Земли*, 2006, Т. X, № 3, с. 3—14.
10. Романенко Ф. А., Гаранкина Е. В., Олюнина О. С. Формирование рельефа Западного Ямала в позднем плейстоцене и голоцене // *Криогенные ресурсы полярных регионов: Мат-лы международной конф.* — Тюмень: Ин-т криосферы Земли, 2008. С. 327—330.
11. Белова Н. Г. Пластовые льды юго-западного побережья Карского моря. — М.: МАКС Пресс, 2014, 180 с.
12. Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр. — М.: ГЕОС, 1997. 432 с.
13. Мельников В. П., Спесивцев В. И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. — Новосибирск: Наука, 1995, 195 с.
14. Копя-Овдиенко Н. В., Огородов С. А. Особенности динамики термоабразионных берегов Байдарацкой губы Карского моря на современном этапе // *Геоморфология*. 2016. № 3. С. 12—21.
15. Зыков Ю. Д., Кошурников А. В., Пушкарев П. Ю. Применение частотного электромагнитного зондирования при проектировании газопроводов // *Инженерные изыскания*, 2008, № 3, С. 70—74.

## COASTAL EROSION MONITORING AT THE BOVANENKOVO-UKHTA GAS PIPELINE LANDFALL, THE WESTERN YAMAL, THE KARA SEA COAST

**N. G. Belova**, Ph. D. (Geography), Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, nataliya-belova@yandex.ru,  
**S. A. Ogorodov**, Ph. D. (Geography), Dr. Habil, professor RAS, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, s.ogorodov@mail.ru,

**O. S. Shilova**, Ph. D. (Geography), Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, o.olyunina@mail.ru,

**A. V. Novikova**, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, annamsu17@gmail.com,

**D. M. Aleksyutina**, Ph. D. (Geology), Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, aleksyutina@gmail.com

## References

1. Lantuit H., Overduin P. P., Couture N. et al. The Arctic Coastal Dynamics database: a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines. *Estuaries and Coasts*, 2012, 35, P. 383–400.
2. Forbes D. L. (editor), State of the Arctic Coast 2010 — Scientific Review and Outlook. International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Arctic Monitoring and Assessment Programme, International Permafrost Association. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany, 2011, 178 p.
3. Are F. E. *Razrushenie beregov arkticheskix primorskix nizmemmostej* [Coastal erosion of the Arctic lowlands]. Editor-in-chief V. P. Melnikov. Novosibirsk, Academic publishing house “GEO”, 2012, 291 p. [in Russian].
4. Ogorodov S. A. *Rol morskix ldov v dinamike beregov* [The role of sea ice in coastal dynamics]. Moscow: MSU Publishing, 2011, 173 p. [in Russian].
5. Ogorodov S., Baranskaya A., Belova N. et al. Coastal dynamics of the Pechora and Kara Seas under changing climatic conditions and human disturbances. *Geography, Environment, Sustainability*. 2016. Vol. 9, No. 3. P. 53–73.
6. Vasiliev A. A., Streletskaya I. D., Cherkashev G. A. and Vanshtein B. G. *Dinamika beregov Karskogo morya* [Coastal dynamics of the Kara Sea]. *Earth's Cryosphere*. Vol. 10. No. 2, 2006. P. 56–67 [in Russian].
7. Vasiliev A. A., Shirokov R. S., Oblogov G. E., Streletskaya I. D. *Dinamika morskix beregov Zapadnogo Yamala* [Coastal dynamics of the western Yamal]. *Earth's Cryosphere*, Vol. 15. No. 4, 2011. P. 72–75 [in Russian].
8. Belova N. G., Shabanova N. N., Ogorodov S. A., Kamalov A. M., Kuznetsov D. E., Baranskaya A. V., Novikova A. V. Erosion of permafrost coasts of the Kara Sea near the Kharasavey Cape, the Western Yamal. *Earth's Cryosphere*, 2017, Vol. 21. No. 6. P. 73–83, available at: [http://www.izdatgeo.ru/pdf/earth\\_cryo/2017-6/73\\_eng.pdf](http://www.izdatgeo.ru/pdf/earth_cryo/2017-6/73_eng.pdf), date of access 07.12.2018.
9. Kamalov, A. M., Ogorodov, S. A., Biryukov, V. Yu. et al., 2006. *Morfolitodinamika beregov i dna Bajdaraczkoj guby na trasse perexoda magistralnymi gazoprovodami* [Morpholithodynamics of the Baidaratskaya Bay coasts and bottom at the route the main gas pipelines]. *Earth's Cryosphere*, Vol. 10, No. 3. P. 3–14 [in Russian].
10. Romanenko F. A., Garankina E. V., Olyunina O. S. *Kriogennye resursy polyarnyx regionov: Mat-ly mezhdunarodnoj konf.* [Cryogenic resources of the Polar regions: *Proceedings of the international conference*]. Tyumen, Earth Cryosphere institute, 2008. P. 327–330 [in Russian].
11. Belova N. G. *Plastovye ldy yugo-zapadnogo poberezhya Karskogo morya* [Massive ice beds of the south-western coast of the Kara Sea]. Moscow, MAKS Press, 2014, 180 p. [in Russian].
12. *Prirodnye usloviya Bajdaraczkoj guby. Osnovnye rezultaty issledovaniy dlya stroitelstva podvodnogo perexoda sistemy magistralnyx gazoprovodov Yamal-Centr* [Natural conditions of the Baidaratskaya Bay. The main research results for the construction of an underwater crossing of the Yamal-Tsentr gas pipeline system]. Moscow, GEOS. 1997. 432 p. [in Russian].
13. Melnikov V. P., Spesivtsev V. I. *Inzhenerno-geologicheskie i geokriologicheskie usloviya shel' fa Barenceva i Karskogo morej* [Engineering, geological and geocryological conditions of the Barents and Kara seas shelf]. Novosibirsk: Nauka. 1995. 195 p. [in Russian].
14. Kopa-Ovdienko N. V., Ogorodov S. A. *Osobennosti dinamiki termoabrazionnyx beregov Bajdaraczkoj guby Karskogo morya na sovremennom etape* [Peculiarities of the dynamics of thermoabrasive coasts of the Baydaratskaya Bay of the Kara Sea at the present stage]. *Geomorphology*. 2016. No. 3. P. 12–21 [in Russian].
15. Zykov Yu. D., Koshurnikov A. V., Pushkarev P. Yu. *Primenenie chastotnogo e' lektromagnitnogo zondirovaniya pri proektirovanii gazoprovodov* [Application of frequency electromagnetic soundings for engineering design of gas pipelines]. *Inzhenernye Izyskaniya*, 2008, No. 3. P. 70–74 [in Russian].

## ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРНОЙ ВЗВЕСИ АНАДЫРЯ И ПЕВЕКА

**А. С. Холодов**, заместитель начальника управления, Дальневосточный федеральный университет, *kholodov.as@dyfu.ru*,  
**В. А. Дрозд**, инженер по радиационной безопасности, Дальневосточный федеральный университет, *v\_drozd@mail.ru*,  
**В. В. Чернышев**, к. б. н., старший преподаватель кафедры нефтегазового дела и нефтехимии, Дальневосточный федеральный университет, *chvv@mail.ru*,  
**К. Ю. Кириченко**, научный сотрудник, Дальневосточный федеральный университет, *kirichenko2012@gmail.com*,  
**В. В. Чайка**, к. б. н., старший научный сотрудник, Дальневосточный федеральный университет, *chaika.vv@dyfu.ru*,  
**К. С. Голохваст**, д. б. н., профессор, Дальневосточный федеральный университет, ВФ ДНЦ ФПД — НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, *droopy@mail.ru*

В работе приведены результаты первого исследования гранулометрического состава атмосферной взвеси, содержащейся в снеге двух населенных пунктов Чукотского автономного округа: г. Анадырь и г. Певек. По результатам исследования показано, что в воздухе трех из четырех районов Анадыря в долях от 30 до 40 % встречаются частицы с диаметром менее 10 мкм. Наблюдается почти полное отсутствие частиц размером от 100 до 400 мкм в воздухе Анадыря. Воздух Певека содержит экологически значимые частицы PM10 в долях от 9,6 до 29,5 %. Можно сделать вывод, что воздух исследованных городов Анадыря и Певека типичен для арктических городов: средний уровень микро-размерного загрязнения и выраженная доля крупных частиц (более 400 мкм); таким образом, он является результатом хозяйственной деятельности человека (длинный отопительный сезон, особый режим эксплуатации автомобильного парка). Этот уровень загрязнения, в совокупности с суровым климатом этого региона, является постоянным источником болезней органов дыхания и, безусловно, снижает качество жизни.

The paper presents the results of the first study of the particle size distribution of atmospheric particulates contained in the snow of two settlements in the Chukotka Autonomous Region: Anadyr and Pevek. According to the results of the study, particles with the diameter under 10  $\mu\text{m}$  are found in the air of three out of four districts of Anadyr in fractions from 30 to 40 %. There is almost complete absence of particles from 100 to 400  $\mu\text{m}$  in diameter in the air of Anadyr. The air in Pevek contains environmentally significant PM10 particles in fractions from 9.6 to 29.5 %. We can conclude that the settlements of Anadyr and Pevek are typical for Arctic towns: there is an average level of pollution with micro-particles and a pronounced content of large particles (400  $\mu\text{m}$ ). Thus, the pollution is the result of human economic activity (long heating season, special operating mode of automobiles). This level of pollution, together with the harsh climate of this region, is a constant source of respiratory diseases, reducing the quality of life.

**Ключевые слова:** атмосферные взвеси, загрязнение воздуха, PM10, PM50, Анадырь, Певек, экология, микрочастицы.

**Keywords:** atmospheric particulates, air pollution, PM10, PM50, Anadyr, Pevek, ecology, microparticles.

Большая часть территории Чукотского автономного округа (ЧАО) расположена за Северным полярным кругом и продолжительность зимы достигает 10 месяцев, что накладывает определенный отпечаток на тип теплоснабжения.

На территории ЧАО развита горнодобывающая промышленность, ведется активная добыча олова, вольфрама, молибдена, бурого и каменного угля, золота и серебра [1, 2].

Данная статья посвящена изучению микро-размерного загрязнения населенных пунктов Чукотки и продолжает цикл наших работ по исследованию атмосферной взвеси городов и заповедников Дальнего Востока [3].

**Материалы и методы.** Атмосферные взвеси изучались в выпавшем снеге в населенных пунктах Чукотского автономного округа (города Анадырь и Певек), который собирался в момент снегопадов в марте 2018 г.

В Анадыре, самом крупном населенном пункте ЧАО, проживает более 15 тыс. человек (данные 2018 г.), а в Певеке — более 4,3 тыс. человек. Точки отбора приведены на рис. 1 и 2, а расшифровка в табл. 1 и 2.

Атмосферные взвеси изучались в выпавшем снеге [4], который собирался в момент снегопадов в марте 2018 г. Чтобы исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, был собран верхний слой (5—10 см) только что выпавшего снега. Его помещали в стерильные кон-

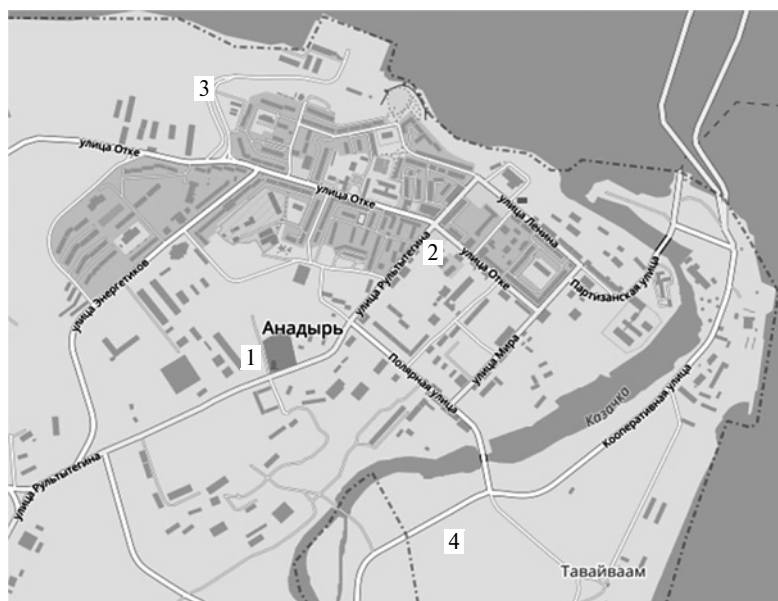


Рис. 1. Станции отбора проб в Анадыре. Расшифровка станций в табл. 1. Участники ©Openstreetmap



Рис. 2. Станции отбора проб в Певеке. Расшифровка станций в табл. 1. Участники ©Openstreetmap

тейнеры объемом 3 л. После доставки проб в лабораторию талый снег упаривали на роторном испарителе при температуре 40 °С для получения более концентрированного раствора, пока его объем не уменьшался до 60 мл. Жидкость анализировали на лазерном анализаторе частиц Fritsch Analysette 22 NanoTech (Германия). Измерения проводились в диапазоне от 0,08 до 2000 мкм.

Исследования проводились с использованием оборудования ЦКП «Межведомственный центр аналитического контроля состояния окружающей среды» ДВФУ.

**Результаты и обсуждение.** Данные по гранулометрическому составу частиц, взвешенных в воздухе населенных пунктов, приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, в трех из четырех районов Анадыря содержатся потенциально опасные частицы  $PM_{10}$  (с диаметром менее 10 мкм): точка 2 — 30,7 %, точка 3 — 40,71 % и точка 4 — 37,71 %. Источником такой размерной фракции в этих точках являются, по-видимому, автомобили, которые в условиях эксплуатации при отрицательных температурах большую часть времени находятся в рабочем режиме. Точка отбора 1, находящаяся в 50 м от трубы котельной, показала наличие характерной крупной фракции сажи — от 100 до 700 мкм. Стоит также отметить, что в воздухе Анадыря отсутствуют частицы  $PM_{100}$  и  $PM_{400}$ , а частицы  $PM_{50}$  встречаются только в одном районе. Возможно, это связано с динамикой

**Таблица 1**  
**Описание станций отбора проб в Анадыре**

№ точки	Район отбора пробы
1	Ул. Рультеггина 35 (Котельная — расстояние 50 м)
2	Ул. Рультеггина 19 (Крупная автомагистраль — перекресток)
3	Ул. Беринга д. 20, удаление 100 м
4	Ул. Кооперативная (лесопарковая зона, 200 м от дороги)

**Таблица 2**  
**Описание станций отбора проб в Певеке**

№ точки	Район отбора пробы
1	Район Чаунской ТЭЦ
2	Жилой район
3	Район Морского торгового порта
4	Лесопарковая зона

**Таблица 3**  
**Гранулометрический состав частиц взвеси в г. Анадырь и г. Певек**

Точки отбора/ фракция, мкм	Анадырь				Певек			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Менее 1	0,56	5,7	6,6	4,32	1,9	2,8	1,2	4
1—10	1,36	25	34,11	33,39	16,9	21,2	8,4	25,5
10—50	4,96	13,97	12,24	9,42	36,8	27,3	51,6	43,7
50—100	1,04	0	0	0	4,3	4,7	34	5,4
100—400	47,44	0	0	0	3,9	5,7	4,8	0
400—700	42,14	3,62	4,82	3,34	1	2	0	0,5
Более 700	2,74	51,62	42,2	49,49	35,1	36,2	0	20,8

воздушных масс (перенос «материк—океан»), ведь Анадырь расположен на побережье Берингова моря, в зоне тундры с характерным морским климатом, отличительной чертой которого является муссон (сезонная смена влияния океана и суши). Наиболее сильные ветра наблюдаются в ноябре—марте, именно тогда, когда отбирались пробы, при этом ФГБУ «Чукотское УГМС» не фиксировало отклонений от обычного уровня загрязнения окружающей среды в данный период [5].

*Данная работа выполнена в рамках проекта «Разработка и практическая апробация методов экологической оценки объектов использования атомной энергии Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» для долгосрочного обеспечения безопасности на стадиях подготовки к их выводу из эксплуатации и вывода из эксплуатации с учетом совокупных антропогенных (радиационных, химических и иных) рисков Дальневосточного федерального округа».*

### Библиографический список

- Север и северяне. Современное положение коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока России / Отв. ред. Н. И. Новикова, Д. А. Функ. — М.: издание ИЭА РАН, 2012. — 204 с.
- Железнов-Чукотский Н. К., Железнова Т. К. Экологические факторы здоровья населения на территории Северо-Восточной Азии // Научный диалог. — 2015. — № 2 (38). — С. 41—62.
- Голохваст К. С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. — Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2013. — 178 с.
- Голохваст К. С., Христофорова Н. К., Кики П. Ф., Гульков А. Н. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных в атмосферном воздухе частиц // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. — 2011. — № 2 (40). — С. 94—100.
- Мониторинг загрязнения окружающей среды на территории Чукотского АО за март 2018 года. Официальный сайт ФГБУ «Чукотское УГМС» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chukotmeteo.ru/-2018-.html>.

В Певеке, в отличие от Анадыря, доля частиц фракции  $PM_{10}$  не превышает 25,5 %, хотя в городе и находится Чаунская ТЭЦ, построенная в 1944 г. Во многих пробах обнаружено высокое содержание характерных для выбросов ТЭЦ крупных частиц (спеки и сажа), размером более 700 мкм. Свой вклад в загрязнение атмосферного воздуха Певека вносят предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых [6].

Среднее микроразмерное загрязнение атмосферы городов Анадырь и Певек показывает, что экологическая обстановка в этих городах является следствием климатических условий (отрицательные температуры и сезонные ветра), а также адаптацией к ним (долгий период работы котельных и ТЭЦ, режим работы двигателей автомобилей) [2]. Такие условия сказываются на здоровье жителей: болезни органов дыхания лидируют среди показателей заболеваемости жителей округа [1, 7].

Результаты данной работы необходимо учитывать при проработке развития арктических городов, в том числе при подготовке проектов теплоснабжения (идеальным вариантом видится строительство газовых ТЭЦ, дающих минимальные выбросы).

6. Выполнение работ по разработке генерального плана и правил землепользования и застройки городского округа Певек: Этап 2. Том 2: Материалы по обоснованию проекта генерального плана и правил землепользования и застройки городского округа Певек. — Омск — Санкт-Петербург: ПАО «ОНХП», 2017. — 145 с.
7. Галанин А. В., Беликович А. В., Галанин А. А., Трегубов О. Д. и др. Природа и ресурсы Чукотки. — Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1997. — 236 с.

---

## THE FIRST DATA ON THE PARTICLE SIZE COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PARTICULATES IN ANADYR AND PEVEK

**A. S. Kholodov**, Deputy Head of the Department, Far Eastern Federal University, kholodov.as@dvfu.ru,

**V. A. Drozd**, Radiation Safety Engineer, Far Eastern Federal University, v\_drozd@mail.ru,

**V. V. Chernyshev**, Ph. D. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Oil, Gas and Petrochemical Industry, Far Eastern Federal University, chvv@mail.ru,

**K. Yu. Kirichenko**, Researcher, Far Eastern Federal University, kirichenko2012@gmail.com,

**V. V. Chaika**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Far Eastern Federal University, chaika.vv@dvfu.ru,

**K. S. Golokhvast**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Far Eastern Federal University, Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation, Pacific Institute of Geography FEB RAS, droopy@mail.ru

### References

1. Sever i severyane. Sovremennoe polozhenie korennyh malochislennykh narodov Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka Rossii / Otv. red. N. I. Novikova, D. A. Funk [The North and the Northerners. The current situation of indigenous small-numbered peoples of the North, Siberia and the Far East of Russia. Ed. by N. I. Novikova, D. A. Funk.]. Moscow, Publ. IEA RAS. 2012. 204 p. [in Russian]
2. Zheleznov-Chukotsky N. K., Zheleznova T. K. Ekologicheskie faktory zdorov'ya naseleniya na territorii Severo-Vostochnoj Azii. *Nauchnyj dialog* [Environmental factors of population health in North-East Asia. *Scientific dialogue*]. 2015. No. 2 (38). P. 41–62. [in Russian]
3. Golokhvast K. S. Atmosfernye vzvesi gorodov Dal'nego Vostoka [Urban atmospheric suspensions of the Russian Far East]. Vladivostok, FEFU Publishing House. 2013. 178 p. [in Russian]
4. Golokhvast K. S., Khristoforova N. K., Kiku P. F., Gulkov A. N. Granulometricheskij i mineralogicheskij analiz vzveshennykh v atmosfernom vozduhe chastic. *Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* [Granulometric and mineralogic analysis of suspended particles in the air. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*]. 2011. No. 2 (40). P. 94–100. [in Russian]
5. Monitoring zagryazneniya okruzhayushchej sredy na territorii Chukotskogo AO za mart 2018 goda. Oficial'nyj sajt FGBU "Chukotskoe UGMS" [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.chukotmeteo.ru/-2018-.html> [Monitoring of environmental pollution in the territory of Chukotka Autonomous Okrug for March 2018. Official site of FGBU Chukotskoye UGMS] [Electronic resource] URL: <http://www.chukotmeteo.ru/-2018-.html> [in Russian]
6. Vypolnenie rabot po razrabotke general'nogo plana i pravil zemlepol'zovaniya i zastrojki gorodskogo okruga Pevek: Etap 2. Tom 2: Materialy po obosnovaniyu proekta general'nogo plana i pravil zemlepol'zovaniya i zastrojki gorodskogo okruga Pevek. [Implementation of works on the development of the master plan and rules for land use and development of the city district of Pevek: Stage 2. Volume 2: Materials for the substantiation of the draft master plan and rules of land use and development of the urban district of Pevek]. Omsk, St. Petersburg, PAO "ONHP". 2017. 145 p. [in Russian]
7. Galanin A. V., Belikovich A. V., Galanin A. A., Tregubov O. D. et al. Priroda i resursy Chukotki. [Nature and resources of Chukotka]. Magadan, NESR FEB RAS. 1997. 236 p. [in Russian]

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

С. Б. Сосорова, кандидат биологических наук,  
н. с., [soelma\\_sosorova@mail.ru](mailto:soelma_sosorova@mail.ru),

В. Л. Убугунов, кандидат биологических наук,  
в. н. с., заведующий лабораторией,  
[ibuginovv@mail.ru](mailto:ibuginovv@mail.ru),

И. Н. Лаврентьева, кандидат биологических  
наук, с. н. с., [lira1973@mail.ru](mailto:lira1973@mail.ru),

Л. Л. Убугунов, д. б. н., профессор, директор,  
[l-ulze@mail.ru](mailto:l-ulze@mail.ru),

Л. Н. Болонева, кандидат биологических наук,  
с. н. с., [ldm-boloneva@mail.ru](mailto:ldm-boloneva@mail.ru),

Ю. А. Рупышев, кандидат биологических наук,  
с. н. с., [rupyshev@mail.ru](mailto:rupyshev@mail.ru),

Э. Г. Цыремпилов, кандидат биологических  
наук, м. н. с., [enhetsyrempilov@mail.ru](mailto:enhetsyrempilov@mail.ru).

ФГБУН «Институт общей  
и экспериментальной биологии СО РАН»  
(ИОЭБ СО РАН), Улан-Удэ, Россия,

Установлены уровни концентрации тяжелых металлов в растениях и технозомах рекультивированных участков территорий деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината. Уровень суммарного загрязнения техноземов по содержанию ТМ (As, Cd, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn, Ni, V), относительно имеющихся ПДК (ОДК), изменяется от допустимого до умеренно опасного, а по содержанию 15 элементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, Zn, Ba, Sr) относительно фона — от допустимого до чрезвычайно опасного. В большинстве случаев концентрация ТМ в растениях превышала их среднее содержание в растительности континентов. Выявлено превышение максимально-допустимого уровня (для кормов) по содержанию Cd, Co, Cr, Pb. Проведенные мероприятия по рекультивации дали положительный эффект.

Heavy metal concentrations in plants and technozems of the reclaimed areas of the Dzhida tungsten-molybdenum industrial complex have been established. The level of total pollution of technozems by heavy metals (As, Cd, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn, Ni, V), as compared to the existing MACs (APC), varied from permissible to moderately dangerous. The content of 15 elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, Zn, Ba, Sr), as compared to the background, varied from permissible to extremely dangerous. In most cases, the concentration of HM in plants exceeded its average content in the vegetation of the continents. The content of Cd, Co, Cr, Pb in plants has been shown to exceed the maximum permissible concentrations in feed. The reclamation activities had a positive effect.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, суммарное загрязнение, рекультивированные участки, техноземы, растения.

**Keywords:** heavy metals, total pollution, reclaimed areas, technozems, plants.

**Введение.** Разработка месторождений сопровождается возникновением техногенных ареалов, связанных с поступлениями соединений тяжелых металлов (ТМ) [1, 2]. Не является исключением и Республика Бурятия, где в Закаменском районе за период деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (ДВМК) образовалось 44,5 млн тонн отходов обогащения, которые на протяжении многих лет являются источником загрязнения на площади более 200 км<sup>2</sup>. Все это обусловило необходимость проведения мероприятий по рекультивации нарушенных земель. В настоящее время рекультивировано 4 участка на общей площади 287 га.

Оценка воздействия ДВМК на объекты окружающей среды и здоровье населения дана в работах [3–8].

В связи с отсутствием данных по влиянию рекультивационных мероприятий на состояние техногенных ландшафтов целью нашей работы является рассмотрение уровней концентрации ТМ (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, Zn, Ba, Sr) в технозомах и растениях рекультивированных участков.

**Объекты и методы.** Объектами исследования послужили почва и растения фонового участка, техноземы и растительность рекультивированных участков, прилегающих к г. Закаменск (контур № 1, 3, 4) и на территории города (контур № 2).

Почвенный покров фонового участка представлен аллювиальной темногумусовой квазиглееватой криотурбированной постагрогенной почвой, а растительность — разнотравно-монгольскополевичевым лугом, во флористическом составе которого насчитывается 3 вида злаков и 36 — бобовых.

На контуре № 1 растительный покров образован полынными, марьевыми, гривастоячменно-пырейными группировками растений, техногенными пустошами с фрагментами группировок марьевой, разнотравно-вострещовой сообществами и лесополосами из лиственницы сибирской и березы

повислой; на рекультивированной части контура № 3 — мятликово-луговотимофеевковыми посевами; контура № 4 — кострцово-райграсовыми, дернистоосоковыми, полевохвощевыми, незамечаемейниковыми фитоценозами. Растительность на техногенном песке очень разрежена и представлена небольшими площадями кустарниково-дернистоосоковых сообществ.

Валовое содержание ТМ в почве и техноземах определялось атомно-эмиссионным методом (ICP-анализ) на приборе «SPECTRO ARCOS» после разложения смесью минеральных кислот. В растениях концентрации ТМ определяли после сухого озоления проб в солянокислой вытяжке на спектрометре ICPE-9000 [9].

Для оценки степени загрязнения техноземов и почв ТМ использовался суммарный показатель загрязнения (Zc), рассчитанный по [10].

**Результаты и обсуждения.** Количество ТМ в растениях исследуемых контуров в большинстве случаев превышало их среднее содержание в растительности континентов. На участке техногенного песка выявлено превышение концентрации ТМ лишь в отношении Cd, Mo и Pb, а на фоновом участке — Cd, Co, Li, Mo и Pb. Для наземной части растений установлены превышения максимально-допустимого уровня (МДУ) по Cd, Co, Cr, Pb — контур № 1, Cd, Cr, Mo, Fe — кон-

тур № 3, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Fe — контур № 4, Cr, Mo, Fe — техногенный песок, Co, Cr — фоновый участок. Благодаря барьерной роли корней накопление ТМ в подземной части растений значительно выше, чем в наземной (табл. 1).

Результаты химического анализа фоновой почвы, техноземов и техногенного песка на содержание ТМ представлены в табл. 2.

Высокие концентрации As, Cd, Cu, Pb, Sb, Zn, превышающие ПДК (ОДК) в 6,5–12,9 раз и относительно повышенное содержание Cr, выявлены на контуре № 1. В техноземах контуров № 3 и № 4 содержание данных элементов ниже, их коэффициенты концентрации (Kc) относительно ПДК (ОДК) колеблются в пределах 0,6–5,8.

Установлено, что относительно кларка в верхней земной коре по А. П. Виноградову (цит. по [14]), отмечается значительное концентрирование W, Mo, Sb, Cd, As, Pb, на уровне или ниже — Cr, Ni, Ba, Sr в техноземах и превышение — As, Cd, Cu, Mo, Pb, Sb, W, Zn, рассеяние — Co, Cr, Mn, Ni, Ba, Sr в техногенном песке (табл. 2).

Уровень суммарного загрязненного (Zc) техноземов по валовому содержанию As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn относительно имеющихся ПДК (ОДК) на контуре № 1 составляет 49,2, относительно фоновой почвы — 55,3. Категория загрязнения данного контура оценивается как опас-

Таблица 1

Микроэлементный состав растений, мг/кг

Фитомасса	Cd	Co	Cr	Li	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn
Среднее содержание в растительности континентов [11]	0,035	0,5	1,8	1,5	8,0	0,5	2,0	1,25	30,0	250	205
Пределы нормальных концентраций [12]	—	0,30–0,50	0,20–1,00	5	2,00–12,00	—	0,40–3,00	0,10–5,00	15,00–150,00	—	—
МДУ в кормах [13]	0,3	1,0	0,5	—	30	2,0	3,0	5,0	50	100	300
контур № 1											
надземная (X ± x)	2,5 ± 1,2	1,3 ± 0,2	2,9 ± 0,3	2,3 ± 0,3	16,5 ± 4,9	1,9 ± 0,5	3,1 ± 0,4	9,2 ± 2,2	91 ± 31	423 ± 93	240 ± 91
подземная	5,6 ± 3,1	8,3 ± 1,3	11,9 ± 2,1	5,3 ± 0,8	355 ± 272	92 ± 87	14 ± 2,5	173 ± 100	249 ± 156	7406 ± 1885	811 ± 201
контур № 3											
надземная	0,6 ± 0,04	1,0 ± 0,1	3,2 ± 0,3	6,2 ± 1,1	2,9 ± 0,3	12,9 ± 5,7	2,8 ± 0,2	1,4 ± 0,2	47,8 ± 4,5	271 ± 38	206 ± 21
подземная	5,0 ± 0,9	13,3 ± 1,9	24,6 ± 3,4	10,8 ± 1,6	107,7 ± 29,4	36,9 ± 9,8	29,4 ± 3,6	118 ± 27,4	159 ± 29	13864 ± 2045	1410 ± 210
контур № 4											
надземная	0,8 ± 0,1	1,6 ± 0,1	3,6 ± 0,5	3,8 ± 0,4	7,2 ± 0,7	6,1 ± 0,5	4,1 ± 0,4	8,8 ± 0,6	40,7 ± 8,8	776 ± 115	227 ± 11
подземная	4,2 ± 0,3	10,8 ± 0,8	21,0 ± 1,6	14,0 ± 1,2	85,9 ± 11,1	15,1 ± 3,1	22,8 ± 1,3	57,3 ± 6,1	111 ± 8	5513 ± 622	680 ± 49
Техногенный песок											
надземная	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,7 ± 0,2	6,3 ± 3,1	2,6 ± 0,4	0,8 ± 0,2	3,2 ± 0,3	21,4 ± 1,8	199 ± 48	139 ± 32
подземная	4,4 ± 0,7	21,7 ± 4,3	30,4 ± 9,8	5,1 ± 1,3	192,7 ± 38,2	72,9 ± 15,5	24,4 ± 7,8	101 ± 16,6	118 ± 12	14280 ± 3021	434 ± 114
Фон											
надземная	0,3 ± 0,04	0,7 ± 0,04	1,5 ± 0,1	4,5 ± 1,1	4,9 ± 0,1	2,2 ± 0,05	1,9 ± 0,1	4,9 ± 0,2	13,9 ± 0,7	60,0 ± 8,5	49,0 ± 2,3
подземная	1,2 ± 0,3	7,4 ± 0,7	15,9 ± 3,1	4,8 ± 1,5	18,5 ± 2,0	4,9 ± 0,4	23,4 ± 5,6	19,7 ± 4,6	43,5 ± 0,4	6238 ± 2429	644 ± 204

Примечание. X ± x, где X — среднее значение, x — стандартная ошибка.

Таблица 2

## Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в верхнем 0–10 см слое техноземов, мг/кг

Статистические значения	Элементы														
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	W	Zn	Ba	Sr
контур № 1															
Среднее ( $n = 5$ )	20,8	7,8	22,3	104,7	354,8	1239	8,1	61,1	413	49,0	137,4	557	720	585	331,2
Стандартная ошибка	10,0	3,4	2,2	4,9	149,2	137,3	3,5	6,1	264,8	38,6	4,4	396	312,7	14,5	12,1
контур № 2															
Среднее ( $n = 4$ )	13,2	0,7	21,7	116,4	38,0	1250	1	65,3	40,2	2,5	128,2	139,0	95,0	570	292,5
Стандартная ошибка	1,4	0,04	0,4	2,4	1,2	28,9	0	1,3	3,4	0	2,1	27,5	1,6	11,6	23,6
контур № 3															
Среднее ( $n = 7$ )	8,1	2,2	19,2	76,7	82,1	1312	10,1	51,0	54,4	4,94	135,4	262,6	203,1	598,6	335,7
Стандартная ошибка	1,3	0,5	1,1	6,1	10,2	76,2	3,5	5,3	11,4	0,7	13,0	92,5	56,5	44,1	24,4
контур № 4															
Среднее ( $n = 36$ )	8,9	3,0	21,8	80,8	88,0	1564	14,1	56,1	56,2	<5,0	166,1	564	356	578,3	371,9
Стандартная ошибка	0,2	0,2	0,4	2,5	3,4	33,3	3,1	3,3	3,4	—	5,1	51,6	28,1	5,8	5,2
техногенный песок ( $n = 1$ )	9,6	3,7	4,6	25,6	84,6	670	217,5	20,9	304,1	22,3	30,7	1206,4	266,7	430	90
фоновая почва ( $n = 1$ )	<5,0	0,8	16,3	138,1	30,8	1000	2,9	122,5	18,3	<5,0	96,4	<5,0	79,3	460	270
Кларки в земной коре, мг/кг (А. П. Виноградов, 1962) — цит. по [14]	1,7	0,13	18	83	47	1000	1,1	58	16	0,5	90	1,3	83	650	3740

ная. Допустимый уровень суммарного загрязнения выявлен на контурах № 2 и № 3, где  $Z_c = 8,0$  (относительно фона — 4,7) и  $Z_c = 12,5$  (9,3) соответственно, умеренно опасный — на контуре № 4, где  $Z_c = 18,5$  (13,2).

Суммарное загрязнение относительно фоновое содержание 15 элементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, Zn, Ba, Sr) техногенного песка составляет 340, техноземов — на контуре № 1 — 170, № 2 — 32, № 3 — 123, № 4 — 132, что связано с высоким содержанием W в исследуемом объекте. Категория загрязнения в данном случае оценивается как опасная и чрезвычайно опасная.

По уровню суммарного загрязнения ТМ контура можно расположить в следующий ряд по убыванию: № 1 > № 4 > № 3 > № 2.

**Заключение.** С учетом уровня заболеваемости населения и состояния компонентов окружающей среды экологическую ситуацию в г. Закаменск и на прилегающей территории к ДВМК можно оценить как напряженную.

Мероприятия по рекультивации земель, нарушенных деятельностью ДВМК, дают положительный эффект, так как это привело к снижению загрязнения тяжелыми металлами растений и техноземов в зависимости от технологии рекультивации.

### Библиографический список

1. Пузанов А. В., Бабошкина С. В., Горбачев И. В. Особенности миграции тяжелых металлов в природно-техногенных аномалиях северо-западного Алтая // Геохимия, 2012, № 4. С. 393—402.
2. Джувеликян Х. А. Влияние техногенных факторов на городские и пригородные ландшафты Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2010. № 1. С. 68—75.
3. Доржонова В. О. Фитоэкстракция и фитотоксичность тяжелых металлов в загрязненных почвах // Автореф. дисс. кандидата биол. наук: Улан-Удэ: 2013. — 22 с.
4. Иметхенов А. Б. Воздействие техногенных загрязнений Джидинского вольфрамо-молибденового комбината на здоровье детей г. Закаменска (Республика Бурятия) / Иметхенов А. Б., Доржиев Ц. З., Максарова Д. Д., Манкетова А. А. // Вестник Бурятского государственного университета, 2015, № 4. С. 229—236.
5. Иметхенов А. Б., Иметхенов О. А., Иметхенов О. В. Влияние техногенных песков Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Джидаккомбината) на окружающую среду (Республика Бурятия) // Вестник ВСГУТУ. 2016. № 6 (63). С. 47—53.
6. Тимофеев И. В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и древесных растениях зоны влияния Джидинского W—Mo (Россия) и Эрдэнэтского Cu—Mo (Монголия) комбинатов // Автореф. дисс. канд. географических наук, М., 2016. — 26 с.
7. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2016 году». Улан-Удэ, 2017. — 232 с.

8. Федотов П. К., Петухов В. И., Зелинская Е. В., Бурдонов А. Е. Оценка воздействия хвостохранилищ Дзидинского вольфрамо-молибденового комбината на объекты окружающей среды // Горный журнал. 2017. № 10. С. 70—74. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.15.
9. Практикум по агрохимии / под ред. Минеева В. Г. — М.: Изд-во МГУ, 2001. — 689 с.
10. СанПиН 4266—87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами.
11. Добровольский В. В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. — М.: Изд. Центр «Академия», 2003. — 400 с.
12. Минеев В. Г. Экологические проблемы агрохимии. — М.: Изд-во МГУ, 1987. — 285 с.
13. СанПиН 2.1.7.573—96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.
14. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. — С. 7—17.

## GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF RECLAIMED AREAS OF THE DZHIDA TUNGSTEN-MOLYBDENE INDUSTRIAL COMPLEX (THE REPUBLIC OF BURYATIA)

**S. B. Sosorova**, Ph. D. (Biology), Researcher, soelma\_sosorova@mail.ru,  
**V. L. Ubugunov**, Ph. D. (Biology), Head of laboratory, ubugunov@mail.ru,  
**I. N. Lavrentyeva**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, lira1973@mail.ru,  
**L. L. Ubugunov**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Director, l-lulze@mail.ru,  
**L. N. Boloneva**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, ldm-boloneva@mail.ru,  
**Yu. A. Rupyshev**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, rupyshev@mail.ru,  
**E. G. Tsyrempilov**, Ph. D. (Biology), Research Assistant, enhetsyrempilov@mail.ru.  
 Institute of General and Experimental Biology SB RAS (IGEB SB RAS), Ulan-Ude, Russia,

### References

1. Puzanov A. V., Baboshkina S. V., Gorbachev I. V. Osobennosti migratsii tyazhelykh metallov v prirodno-technogennykh anomaliiakh severo-zapadnogo Altaya. [Features of migration of heavy metals in natural and technogenic anomalies of the North-west Altai]. *Geochemistry*, 2012. No. 4. P. 393—402. [in Russian]
2. Dzhuvelikyan H. A. Vliyaniye tehnogennykh faktorov na gorodskie i prigorodnye landshafty Centralnogo Chernozemya [Influence of technogenic factors on the city and suburban landscapes of the Central Chernozem Region]. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2010. No. 1. P. 68—75. [in Russian]
3. Dorzhonova V. O. Fitoekstraktsiya i fitotoksichnost tyazhelykh metallov v zagryaznennykh pochvah. [Phytoextraction and phytotoxicity of heavy metals in the polluted soils]. *Abstract of the thesis for Ph. D. (Biology)*. Ulan-Ude. 2013. 22 p. [in Russian]
4. Imethenov A. B. Vozdejstvie tehnogennykh zagryaznenij Dzhidinskogo volframo-molibdenovogo kombinata na zdorove detej g. Zakamenska (Respublika Buryatiya). Imethenov A. B., Dorzhiev C. Z., Maksarova D. D., Manketova A. A. [Impact of technogenic pollution from the Dzhida W—Mo industrial complex on the health of children of Zakamensk (the Republic of Buryatia)]. *Bulletin of the Buryat State University*, 2015. No. 4. P. 229—236. [in Russian]
5. Imethenov A. B., Imethenov O. A., Imethenova O. V. Vliyaniye tehnogennykh peskov Dzhidinskogo volframolibdenovogo kombinata (Dzhidakombinata) na okruzhayushuyu sredu (Respublika Buryatiya). [The Influence of technogenic sand from the Dzhida tungsten-molybdenum industrial complex on the environment (the Republic of Buryatia)]. *The VSGUTU Bulletin*. 2016. No. 6 (63). P. 47—53. [in Russian]
6. Timofeev I. V. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvah i drevesnykh rasteniyakh zony vliyaniya Dzhidinskogo W—Mo (Rossiya) i Erdenetskogo Cu—Mo (Mongoliya) kombinatov. [Heavy metals and metalloids in soils and wood plants of a zone of influence of the Dzhida tungsten-molybdenum (Russia) and Erdenetsky Cu—Mo (Mongolia) industrial complexes]. *Abstract of the thesis for Ph. D. (Geography)*, M., 2016. 26 p. [in Russian]
7. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii i ohrane okruzhayushej sredy Respubliki Buryatiya v 2016 godu”. [The state report “On the state and environmental protection of the Republic of Buryatia in 2016”]. Ulan-Ude, 2017. — 232 p. [in Russian]
8. Fedotov P. K., Petukhov V. I., Zelinskaya E. V., Burdonov A. E. Ocenka vozdejstviya hvostohranilish Dzhidinskogo volframo-molibdenovogo kombinata na obekty okruzhayushej sredy. [Evaluation of the impact of the tailings of the Dzhida tungsten-molybdenum plant on environmental objects]. *Gornyy zhurnal*. 2017. No. 10. P. 70—74. DOI: 10.17580/gzh.2017.10.15. [in Russian]
9. Praktikum po agrokhimii (pod red. Mineeva V. G.) [A workshop on agrochemistry / ed. by Mineev V. G.]. Moscow, Publishing house of MSU, 2001. 689 p. [in Russian]
10. СанПиН 4266—87. Metodicheskie ukazaniya po ocenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy himicheskimi veshchestvami. [SanPiN 4266—87. Methodical instructions according to degree of danger of pollution of the soil chemicals.] [in Russian]
11. Dobrovolskij V. V. Osnovy biogeohimii. [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, Izd. Centr “Akademi”, 2003. 400 p. [in Russian]
12. Mineev V. G. Ekologicheskie problemy agrokhimii. [Environmental problems of agrochemistry]. Moscow, Publishing house of MSU, 1987. 285 p. [in Russian]
13. СанПиН 2.1.7.573—96. Gigienicheskie trebovaniya k ispolzovaniyu stochnykh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya. [SanPiN 2.1.7.573—96 Hygienic requirements to use of sewage and their rainfall for an irrigation and fertilizer] [in Russian]
14. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Klarki himicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeohimii. [Klarki of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry]. *Bulletin of Moscow State University. Series Geography*. 2015. No. 2. P. 7—17. [in Russian]

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ БИОГАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

С. В. Киселева, к. ф.-м. н., в. н. с.,  
*k\_sophia\_v@mail.ru*,  
А. А. Тулегенова, аспирант,  
*ainur18.93@list.ru*,  
Москва, Россия,  
Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Работа посвящена изучению биоэнергетического потенциала сельскохозяйственных отходов Актмолинской области. Казахстан экспортирует значительные объемы сельскохозяйственной продукции за рубеж, обеспечивает продовольственную безопасность и активно развивает сельскохозяйственную отрасль. Несмотря на значительное количество отходов, их переработка находится на начальной стадии развития. Вторичное использование сельскохозяйственных отходов несет за собой ряд положительных экологических и экономических эффектов. При проектировании биогазовых станций, оценки их потенциальной производительности и рентабельности необходимо осуществление предварительного отбора территорий и с учетом доступных для переработки отходов. Для этих целей был проведен комплексный анализ крупных сельскохозяйственных предприятий Актмолинской области, рассчитан доступный валовый энергетический потенциал отходов. Использование пространственного анализа позволило рассмотреть в комплексе ряд значимых ограничивающих и способствующих развитию биоэнергетики факторов и определить территории, оптимальные для переработки отходов с получением биогаза.

The paper is devoted to the study of the bioenergy potential of agricultural waste in the Akmola Region. The Republic of Kazakhstan exports significant volumes of agricultural products abroad, provides its own food security and actively develops the agricultural sector. Despite a significant amount of waste, its processing is at the initial stage of development. The secondary use of agricultural waste results in a number of positive environmental and economic effects. To design biogas plants, to assess their potential productivity and profitability, it is necessary to pre-select territories and assess the available ones for processing waste. For these purposes, a comprehensive analysis of large agricultural enterprises of the Akmola Region was carried out, and the available gross energy potential of the waste was calculated. The use of spatial analysis made it possible to consider in the complex a number of significant factors limiting and promoting the development of bioenergy and to determine the territories that are optimal for waste processing with biogas production.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, биоэнергетика, Актмолинская область, биогазовые станции, сельское хозяйство, отходы, переработка, Казахстан.

**Keywords:** renewable energy sources, bioenergy, the Akmola Region, biogas station, agriculture, waste, recycling, Kazakhstan.

**Введение.** Несмотря на значительные запасы нефти, сельскохозяйственный сектор Республики Казахстан (РК) играет ключевую роль при обеспечении продовольственной безопасности. РК занимает 12-е место среди мировых стран-производителей пшеницы, по данным ФАО в 2017 г. выращено 14 млн т зерна [1]. В последние годы в республике растет интерес к развитию биоэнергетики на основе сельскохозяйственных отходов.

Развитие технологий биоэнергетики позволяет использовать сельскохозяйственные отходы для получения топлива. Помимо энергетических преимуществ, переработка отходов несет за собой ряд положительных экологических эффектов и дает значительные объемы высокоэффективных удобрений.

Для проектирования объектов биоэнергетики, оценки их потенциальной производительности и рентабельности необходимо провести предварительный отбор и обоснование мест их локализации на основе оценки доступных для переработки органических отходов, учета природных, экономических и экологических факторов. В связи с этим основной задачей исследования является разработка методики отбора площадок для биогазовых станций (БГС) с использованием методов и подходов геоинформатики и с учетом природоохранных и экономических факторов.

В работе рассмотрена северная область Казахстана — Актмолинская, где традиционно выращивают зерновые культуры, а сельское хозяйство лидирует среди других областей Казахстана, формируя от 15 до 25 % валового регионального продукта. Животноводство представлено выращиванием крупного рогатого скота, птиц, овец, а также лошадей [2]. Масштабы растениеводства в области также благоприятствуют развитию биоэнергетике, так как добавление растительных остатков повышает эффективность процесса метаногенеза.

**Модели и методы.** В области ВИЭ в настоящее время все шире используется пространственный анализ, инструментом проведения которого являются геоинформационные системы (ГИС). Пространственный анализ востребован в основном в двух направлениях: анализ ресурсов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и выбор территории для размещения энергетических систем на ВИЭ [3]. В странах Европейского союза геоинформационные методы анализа используются в связи с задачами увеличения доли ВИЭ в производстве энергии в соответствии с государственными программами и директивами [4]. Геоинформационный метод анализа позволяет комплексно оценить ресурсы ВИЭ, ограничивающие факто-

ры и те аспекты, которые благоприятствуют строительству объектов на ВИЭ [2, 5 и др.]. В России и Республике Казахстан применение пространственного анализа в области ВИЭ осуществляется в основном при разработке карт и атласов ресурсов ВИЭ и создании тематических интернет-ресурсов [5—7]. Пространственный анализ применяется также в связи с разработкой территориальных схем обращения с ТКО в РФ [8]. Биоэнергетика — одно из направлений, где решаются как задачи энергоснабжения, так и проблема утилизации органических отходов. Детальное изложение геоинформационных методов анализа при определении наиболее оптимальных площадок для получения энергии из сельскохозяйственных отходов и ТКО приведены в [8].

Во всех вышеперечисленных работах первоначальным этапом является оценка ресурсов ВИЭ — расчет природного, доступного и (или) технического потенциалов. Для анализа потенциала производства энергии из отходов животноводства и растениеводства при помощи биогазовых станций (БГС) в Акмолинской области РК в качестве методологической основы были использованы подходы, приведенные в работе [3]. Методика [3] была нами переработана и дополнена в соответствии с природными и инфраструктурными условиями выбранного региона, доступными фактическими данными. Выбор оптимальных территорий для размещения БГС на территории области включает в себя 4 этапа.

#### 1. Сбор и подготовка статистической, картографической и пространственной информации.

Содержание статистической информации для каждого района: крупные предприятия животноводства; поголовье, половозрастной состав, особенности содержания скота; возделываемые сельскохозяйственные культуры и их урожайность. Картографическая информация включала административные границы; гидрографическую сеть; дорожно-транспортную сеть; границы особо охраняемых территорий (ООПТ); населенные пункты; линии электропередач; электроподстанции. Пространственная информация содержала координаты животноводческих предприятий.

#### 2. Обработка первичной информации.

2.1. Количественная оценка ресурсов биомассы отходов на основе методики расчета валового энергетического потенциала биомассы отходов животноводства [9]. При оценке доступного валового потенциала отходов учитывалось число животных только в крупных хозяйствах.

2.2. Картографирование распределения ресурсов биомассы отходов и факторов, ограничивающих (территории ООПТ, населенных пунктов, водных объектов) и способствующих (близость

линий электропередач (для транспортировки получаемой энергии), электроподстанций, дорог, строительство БГС.

#### 3. Анализ статистической и картографической информации:

- анализ картографических слоев, отражающих факторы, влияющие на размещение предприятий (см. этап 2), разработка карт территорий, оптимальных для размещения БГС;

- определение «плотности» образования отходов в пределах 10 или 40 км вокруг каждого предприятия. Это расстояние рассматривалось в дальнейшем как максимальное для транспортировки жидкого или сухого навоза. «Плотность» рассматривалась здесь как условная величина, равная отношению мощности источника отходов (тонн отходов в год) к площади круга соответствующего радиуса. Если территории с высокой плотностью отходов (зоны ВПО) радиусом 10/40 км от различных предприятий-источников отходов пересекались, то в зонах пересечения «плотность» образования отходов складывалась. Таким образом, «плотность» введена для визуальной оценки распределения отходов и определения зон с максимальным ресурсным потенциалом. Площадки, попавшие в область с ограничениями на размещение БГС, исключались из рассмотрения;

- расчет необходимого количества отходов растениеводства для оптимизации метанового сбраживания. Для этого на основе статистических данных о типах и урожайности сельскохозяйственных культур определялось количество отходов растениеводства в заданном радиусе (10/40 км) от предприятия животноводства [10]. В связи с отсутствием детальной статистической информации о координатах и специализации растениеводческих хозяйств в Акмолинской области, предполагалось, что все возделываемые культуры распределены по территории районов равномерно;

- определение достаточности отходов растениеводства вблизи каждой перспективной для строительства БГС площадки.

В завершение третьего этапа производилась ручная выборка территорий с максимальной «плотностью» образующихся отходов при наличии транспортной доступности. Выборка территории осуществлялась исходя из условия рентабельности транспортировки отходов животноводства на расстояния, не превышающие 40 км [3].

#### 4. Поиск оптимальных площадок для переработки отходов от нескольких животноводческих предприятий на БГС проводился в пределах ранее выделенных территорий с максимальной «плотностью» отходов животноводства с учетом количества образующихся отходов растениевод-

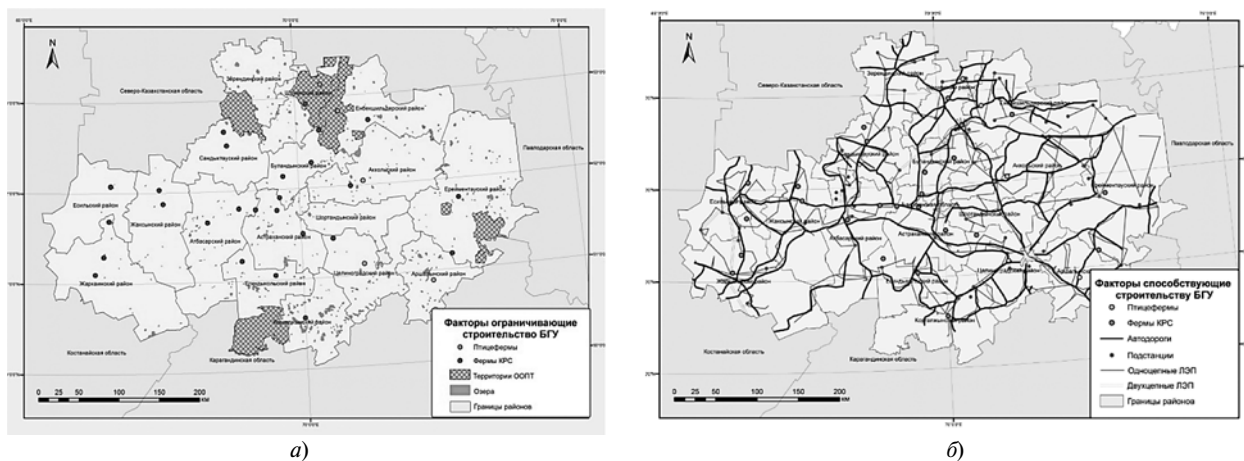


Рис. 1. Факторы, ограничивающие (а) и способствующие (б) строительству БГС на территории Акмолинской области

ства. Этот поиск проводился по критерию минимальных затрат на транспортировку отходов от тех животноводческих предприятий, которые потенциально могут быть объединены для переработки отходов.

**Результаты и их обсуждение.** Описанная выше методика была апробирована для территории Акмолинской области с использованием статистических, картографических и пространственных данных [11] и информации официальных сайтов районов области об инфраструктуре сельскохозяйственного производства. В качестве ограничивающих факторов для размещения БГС были учтены ООПТ (таблица), водные объекты, территории населенных пунктов (рис. 1, а). К способствующим факторам отнесены дорожная сеть, электрические сети и подстанции (рис. 1, б). На территории Государственного национального парка «Бурабай» с заказным режимом регулирования находится две фермы КРС и две птицефабрики.

Наличие источника отходов повышает риск нарушения природной среды национального парка. Поэтому переработка отходов на БГС может предотвратить складирование отходов и загрязнение ими.

Далее, в соответствии с принятой методикой, были построена карта 40-километровых зон вокруг предприятий животноводства с указанием «плотности» образования отходов (рис. 2, а). Наложение зон с различной «плотностью» отходов позволило выделить территории с максимальным ресурсным потенциалом (рис. 2, б). Максимальное количество отходов дали птицефабрики в связи с высоким поголовьем и высоким энергетическим потенциалом отходов, превышающим потенциал отдельных ферм КРС.

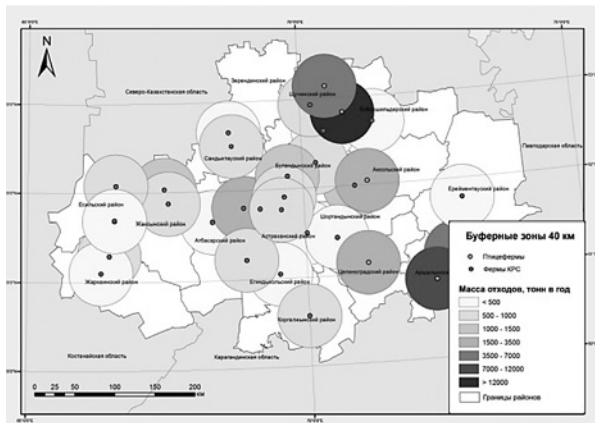
Для учета транспортной доступности на основе карт дорожной сети и распределения «плотности» отходов была построена карта территорий

наложения зон ВПО с учетом дорог (рис. 3, а). На основе этого были определены полигоны, вершины которых располагаются на расстоянии не более 40 км по дорогам от животноводческих предприятий. Подобная карта позволяет выбрать конкретные участки с максимальным сырьевым потенциалом и с учетом транспортной доступности (рис. 3, б). Если оказывается возможным и рентабельным совместная переработка животноводческих отходов от двух и более предприятий, наиболее оптимальной площадкой следует рассматривать территорию «пересечения» построенных для этих предприятий полигонов.

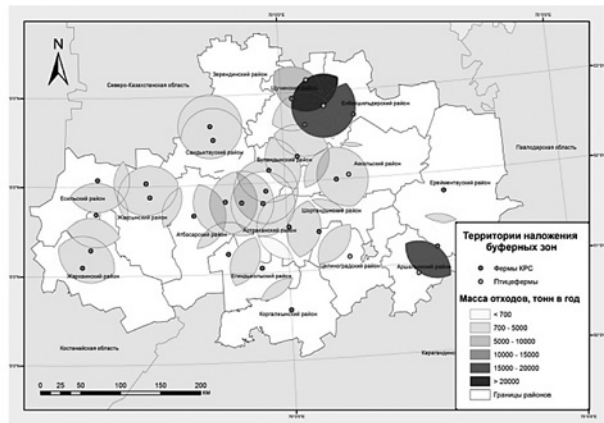
Для выбранных территорий с максимальным ресурсным потенциалом, транспортной доступностью и отсутствием экологических ограничений для размещения БГС было рассчитано необходимое количество растительных остатков с целью максимально эффективного метанового сбраживания отходов. В качестве основной культуры растениеводства рассмотрена пшеница, при этом предполагалось, что пашня зерновых рас-

#### Особо охраняемые территории Акмолинской области

Район	Название объекта ООПТ	Статус ООПТ	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля площади ООПТ в площади района
Бурабайский, Енбекшилдерский	Бурабай	Национальный парк	835,1	14 %
Зерендинский	Кокшетау	То же	1820,76	23 %
Ерейментауский	Буйратау	То же	889,7	5 %
Коргалжынский	Коргалжынский	Заповедник	5432	58 %

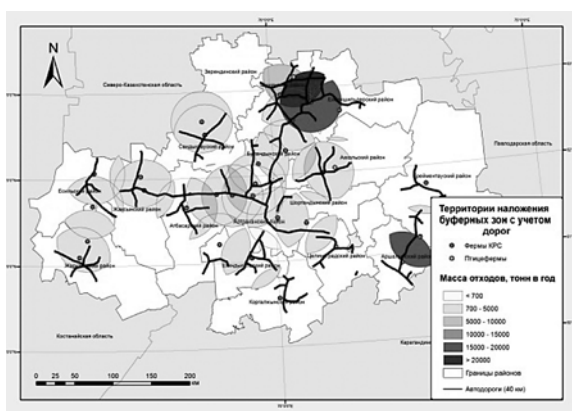


а)

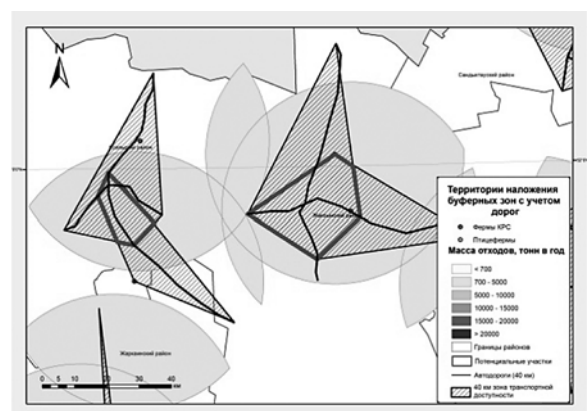


б)

Рис. 2. «Плотность» образования отходов (а) и суммарная «плотность» (б) образования отходов в результате наложения зон ВПО



а)



б)

Рис. 3. Результаты наложения дорожной сети на зоны ВПО (а) и потенциальные участки для строительства БГС (б)

предельна равномерно по территории области. Для 9 крупнейших сельскохозяйственных предприятий области сопоставлялось количество животноводческих отходов, необходимое и реально образующееся количество соломы в радиусе 20 и 40 км. Потребность большинства предприятий в соломе полностью может быть удовлетворена растительными отходами в пределах 20 км от предприятия, кроме крупной птицефабрики (необходимый сбор отходов с площади в пределах 40 км). Таким образом, для Акмолинской области при выборе оптимальных площадок определяющими факторами являются ресурсный потенциал, транспортная доступность и отсутствие экологических ограничений; растительных отходы достаточны и не являются лимитирующим фактором для размещения БГС.

**Заключение.** С помощью инструментов пространственного анализа осуществлен поиск оптимальных территорий для размещения производств по переработке сельскохозяйственных отходов в Акмолинской области. Критериями выбора пос-

лужили: наличие постоянных источников отходов (птицефабрики и фермы КРС; растениеводческие хозяйства), ограничивающие (территории ООПТ, водных объектов, населенные пункты) и способствующие факторы (ЛЭП, дороги, электрические подстанции) развития биогазового производства. Наиболее значимым ограничивающим фактором стало наличие ООПТ, что привело к исключению из рассмотрения значительных территорий. Был рассчитан валовый энергетический потенциал отходов животноводства и растениеводства наиболее крупных сельскохозяйственных предприятий, учтен период стойлового содержания скота.

Для доступных территорий введено понятие «плотность» образования отходов и определены зоны высокой плотности вокруг крупных животноводческих предприятий. С учетом расстояний максимальной рентабельной транспортировки отходов (40 км) построены полигоны, которые являются наиболее оптимальными для размещения предприятий переработки отходов. Показа-

но, что наличие отходов растениеводства для переработки отходов животноводства не является лимитирующим фактором на территории Акмолинской области. Таким образом, применение геоинформационного подхода позволило определить ресурсный потенциал переработки отходов

сельского хозяйства, а также создать методику выбора площадок для утилизации отходов животноводства путем метанового сбраживания с учетом ограничивающих и способствующих факторов. Апробация методики показала ее возможное практическое применение.

### Библиографический список

1. Сайт продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. Режим доступа: <http://www.fao.org>. — (Дата обращения: 21.08.2018).
2. Статистический сборник. Сельское, лесное и рыбное хозяйство в РК за 2014 год. Астана. — 248 с.
3. Sliz-Szkliniarz B., Vogt J. A GIS-based approach for evaluating the potential of biogas production from livestock manure and crops at a regional scale: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012). P. 752–763.
4. Gormally A. M., Whyatt J. D., Timmis R. J., Pooley C. G. A regional-scale assessment of local renewable energy resources in Cumbria, UK // *Energy Policy*. 50 (2012). P. 283–293.
5. Картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии (на примере энергии ветра) // Б. А. Новаковский, А. И. Прасолова, С. В. Киселева, Ю. Ю. Рафикова // *Геодезия и картография*. — 2012. — № 11. — С. 31–39.
6. Атлас солнечных ресурсов РК. Режим доступа: <http://atlassolar.kz/> — (Дата обращения: 12.09.2018).
7. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т. И. Андреевко, Т. С. Габдеррахманова, О. В. Данилова и др. — РХТУ им. Д. И. Менделеева Москва, 2015. — 160 с.
8. Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления, в том числе с твердыми коммунальными отходами Кемеровской области. Режим доступа: <http://www.kemobl.ru> — (Дата обращения: 12.09.2018).
9. Безруких П. П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива / показатели по территориям / — М.: «ИАЦ Энергия», 2007. — 272 с.
10. Официальный сайт Росбиогаса. Режим доступа: <http://www.rosbiogas.ru> — (Дата обращения: 12.09.2018).
11. Сайт министерства национальной экономики РК. Комитет по статистике. Режим доступа: <http://stat.gov.kz>. — (Дата обращения: 21.08.18).

---

## SPATIAL ANALYSIS METHODS FOR ESTIMATING THE POTENTIAL OF ENERGY PRODUCTION USING BIOGAS STATIONS

**S. V. Kiseleva**, Ph. D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher of the Renewable Energy Sources Laboratory, [k\\_sophia\\_v@mail.ru](mailto:k_sophia_v@mail.ru);

**A. A. Tulegenova**, Postgraduate, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russian Federation

### References

1. Food and Agriculture Organization. [Electronic resource] Available at: <https://fao.org> — (date of access: 21.08.2018).
2. Statisticheskii sbornik. Sel'skoe, lesnoe i rybnoe khozyaistvo v Respublike Kazakhstan za 2014 god [Statistical sourcebook. Agriculture, forestry and fisheries in the Republic of Kazakhstan for 2014]. Astana. 248 p. [in Russian]
3. Sliz-Szkliniarz B., Vogt J. A GIS-based approach for evaluating the potential of biogas production from livestock manure and crops at a regional scale: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. No. 16. P. 752–763.
4. Gormally A. M., Whyatt J. D., Timmis R. J., Pooley C. G. A regional-scale assessment of local renewable energy resources in Cumbria, UK. *Energy Policy*. 2012. No. 50. P. 283–293.
5. Kartografirovaniye resursov vozobnovlyаемых istochnikov energii (na primere yuga Rossii) [Geoinformation cartography of resources of renewable sources of energy: a case study of the south of Russia]. Novakovskii B. A., Prasolova A. I., Kiseleva S. V., Rafikova Yu. Yu. *Geodesy and cartography*. 2012. No. 11. P. 31–39. [in Russian]
6. Atlas solnechnykh resursov Respubliki Kazakhstan [The Atlas of the solar resource of the Republic of Kazakhstan]. [Electronic resource]. Available at: <http://atlassolar.kz/>. (Date of access: 21.08.2018). [in Russian]
7. Atlas resursov vozobnovlyаемой ehnergii na territorii Rossii: nauchnoe izdanie [Atlas of Renewable Energy Resources in the Territory of Russia: scientific publication]. T. I. Andreenko, T. S. Gabderakhmanova, O. V. Danilova et al. RCTU D. I. Mendeleev. Moscow, 2015. 160 p. [in Russian]
8. Territorial'naya skhema obrasheniya s otkhodami proizvodstva i potrebleniya, v tom chisle s tverdymi kommunal'nymi otkhodami Kemeroovskoi oblasti [Territorial scheme of the management of production and consumption wastes, including solid municipal waste of the Kemerovo Region]. [Electronic resource]. Available at: <http://www.kemobl.ru>. (Date of access: 21.08.2018). [in Russian]
9. Bezrukikh P. P. Spravochnik po resursam vozobnovlyаемых istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva / pokazateli po territoriyam [Sourcebook on Renewable Energy Resources of Russia and Local Fuels / Indices by Territories]. Moscow, PAC Energy. 2007. 272 p. [in Russian]
10. Rosbiogas. [Electronic resource]. Available at: [www.rosbiogas.ru](http://www.rosbiogas.ru) (Date of access: 21.08.2018).
11. The Web site of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. [Electronic resource]. Available from: <http://stat.gov.kz>. (Date of the access: 21.08.2018).

# ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ КАК ОСНОВА БЕЗОПАСНОГО И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ (ОБЗОР ПРАКТИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ В СУБЪЕКТАХ ФЕДЕРАЦИИ)

В. А. Столбов, к. г. н.,  
доцент кафедры социально-экономической  
географии Пермского государственного  
национального исследовательского  
университета,  
stolbov210857@mail.ru,  
Ю. О. Белоногова, заведующая сектором  
ФГБУ УралНИИ «Экология»,  
belon@ecology.perm.ru,  
А. З. Ощепкова, к. т. н.,  
заместитель директора по инновациям  
ФГБУ УралНИИ «Экология»  
anna-z@ecology.perm.ru,  
Пермь, Россия

В статье дан критический обзор практики выделения зон деятельности региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО) при разработке территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, в субъектах Российской Федерации. Обзор дан с концептуальных позиций, господствующих в современной общественной географии: комплексообразования, территориальной организации общества, регионального капитала, перспективности, эффективности, безопасности и устойчивости регионального развития. Оценка подходов к выделению зон деятельности региональных операторов показала, что разработчиками территориальных схем при зонировании территории учитываются различные факторы, в ряде случаев обоснование выделения зон вообще не приводится. В рассмотренных территориальных схемах выделено от одной до двенадцати зон деятельности региональных операторов, некоторые схемы предполагают вариативность зонирования территории региона.

The article presents a critical review of practice of allocation areas of activity of regional municipal solid waste operator management during territorial waste management schemes development for Russian Federation subjects. The review is presented from the conceptual positions prevailing in modern social geography: complex formation, territorial organization of society, regional capital, perspectivity, efficiency, safety and sustainability of regional development. Assessment of approaches to the allocation areas of activity of regional operators found that the developers of territorial schemes take into account various factors during zoning the territory, in some cases, the rationale for the allocation of zones is not given at all. In the considered territorial schemes it is allocated from one to twelve zones of activity of regional operators, some schemes assume variability of zoning the territory of the region.

**Ключевые слова:** Территориальные схемы обращения с отходами, региональный оператор по обращению с ТКО, зоны деятельности региональных операторов, устойчивое развитие, экологическая безопасность региона, региональный капитал, территориальная организация общества, эффективность регионального развития, экологическая ответственность, экологические компетенции, территориальный межотраслевой комплекс, промышленность по переработке отходов.

**Keywords:** territorial waste management schemes, regional operator of the municipal solid waste management, areas of activity of regional waste management operators, sustainable development, environmental safety of the region, regional capital, territorial organization of society, the efficiency of regional development, environmental responsibility, environmental competencies, regional inter-industry complex, waste processing industry.

**Введение.** Решение задач поддержания качества и улучшения состояния окружающей среды является неотъемлемым атрибутом развитого национального сообщества. Формирование эффективной экологической инфраструктуры насущная потребность на всех иерархических уровнях территориальной организации общества — от поселенческого до государственного [1]. Функционирование подобных структурных образований имеет своей непосредственной целью обеспечение экологической безопасности территорий и создание условий для их устойчивого социально-экономического развития.

Важнейшим звеном экологической инфраструктуры является система обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), которая в силу своей специфики (всеобщность, непрерывность функционирования, управляемость, доступность и т. д.) нуждается в особо детальной проработке. Субъекты Российской Федерации наделены полномочиями по разработке, утверждению и реализации территориальных схем и региональных программ в области обращения с отходами, в том числе с ТКО, на основании статьи 6 Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [2].

Согласно действующему законодательству каждый субъект Федерации должен разработать и утвердить территориальную схему обращения с отходами, и наделить тех или иных юридических лиц статусом регионального оператора по обращению с ТКО. Региональный оператор, определяемый на срок в пределах 10 лет, будет обеспечивать в зоне своей деятельности на территории субъекта Российской Федерации организацию всего процесса обращения с ТКО (накопления, сбора, транспортирования, обработки, утилизации, обезвреживания и захоронения) в соответствии с утвержденной региональной программой и территориальной схемой обращения с отходами.

Территориальная схема субъекта Федерации является документом стратегического планирования, непосредственно затрагивающим интересы всех жителей региона. В конечном итоге успешная реализация территориальных схем способствует минимизации депонирования отходов, стимулирует организацию эффективной системы обращения с ними, содействует формированию комфортной среды жизнедеятельности, наращиванию всех компонентов регионального капитала, созданию благоприятного инвестиционного климата, позиционирует регион в национальном и глобальном пространствах как успешной и позитивной территории [3].

Система обращения с отходами производства и потребления на территории субъектов Федерации должна предусматривать вовлечение отходов в процессы регионального общественного воспроизводства, возвращая максимально возможному количеству использованных ресурсов утраченные потребительские ценности. Неотъемлемой частью этой системы является подсистема обращения с ТКО.

**Гипотеза.** Региональная подсистема обращения с ТКО должна представлять собой территориальный межотраслевой комплекс, представленный субъектами хозяйствования разных видов экономической деятельности, объединенных на следующих принципах:

- участие в процессах обращения с ТКО;
- последовательность технологических процессов (этапы обращения с ТКО);
- нацеленность на устойчивое развитие и экологическую безопасность региона;
- целостность, комплексность и единство органов управления;
- заинтересованность всех участников в результатах функционирования;
- достижение максимальной экономической, социальной и экологической эффективности.

В большей или меньшей мере эти характеристики должны присутствовать и у территориальных подразделений региональной системы — зон деятельности региональных операторов, которые должны соответствовать целостным формам территориальной организации общества [4].

В качестве подобных форм пространственной организации общества в социально-экономической географии рассматриваются территориально-общественные системы (ТОС) разного иерархического уровня. С точки зрения эффективного обращения с ТКО наиболее интересен уровень внутрисубъектных социально-экономических округов (экономических микрорайонов). В границах таких пространственных образований замыкаются основные процессы жизнедеятельности

представителей региональных сообществ (социумов) — трудовые, демографические, бытовые, рекреационные, познавательные, образовательные и т. д. Соответственно, в процессе удовлетворения населением своих жизненных интересов, потребляемые товары переходят в категорию ТКО и «оседают» в пределах такой территориальной системы. В пределах подобных систем складывается, как правило, единая система расселения и транспортная система, обеспечивающие оптимальную пространственно-временную доступность мест труда, быта и отдыха. Следует отметить, что большинство товаров и услуг повседневного и периодического спроса, как правило, производятся также в непосредственной близости к потребителю. Поскольку процесс производства и «преобразования» потребительских ценностей в отходы потребления осуществляется в таких четко заданных территориальных рамках, в них же целесообразно формировать и зональные системы обращения с образующимися отходами. Совокупность перечисленных факторов служит значимым основанием для формирования именно в этих границах зон деятельности региональных операторов по обращению с ТКО.

К сожалению, в настоящее время отсутствует единая система социально-экономического районирования территории страны. Последние исследования подобного рода выполнялись еще в СССР Советом по изучению производительных сил при Госплане СССР, ЦНИИПИ Градостроительства и Центром по проблемам народонаселения при МГУ [5–7]. Плановые документы, принятые на основе этих разработок — «Схемы районной планировки...», имели временной горизонт в 35–40 лет и сегодня не используются. В настоящее время проводятся отдельные исследования по выделению социально-экономических микрорайонов в некоторых регионах РФ, но они имеют фрагментарный характер и базируются на разных методологических принципах. Поскольку процессы общественного воспроизводства весьма консервативны и слабо подвержены масштабным преобразованиям, представляется целесообразным вернуться к использованию результатов социально-экономического районирования субъектов Российской Федерации для целей выделения зон деятельности региональных операторов по обращению с ТКО.

Комплексное и всестороннее обоснование пространственно-организационной составляющей территориальных схем, которая заключается в том числе и в выделении зон деятельности региональных операторов в сфере обращения с ТКО, является неотъемлемой предпосылкой успешной их реализации субъектами Федерации.

Следует отметить, что в действующем законодательстве не определены критерии выделения зон деятельности региональных операторов. Федеральным законом № 503-ФЗ от 31.12.2017 в части конкретизации этой категории указывается лишь то, что «зона деятельности регионального оператора представляет собой территорию или часть территории субъекта Российской Федерации, на которой региональный оператор осуществляет деятельность на основании соглашения, заключаемого с органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации» и «зоны деятельности региональных операторов должны охватывать всю территорию субъекта Российской Федерации и не должны пересекаться» [8].

При отсутствии предварительного научного задела о пространственной организации субъектов Федерации, задача по выделению зон деятельности региональных операторов оказалась для разработчиков территориальных схем непростой. Ее решение требует не только учета огромного количества факторов, но и конструктивного системного мышления, заведомо предполагая формирование основ эффективной деятельности операторов на достаточно длительный перспективный период.

В реальности подходы и методы разработчиков территориальных схем обращения с отходами к выделению зон деятельности региональных операторов отличаются крайним разнообразием. В одном случае авторы документа предлагают выделить в единую операционную зону всю территорию субъекта Федерации. На этой точке зрения настаивают в Омской и Новосибирской областях. В других случаях зоны деятельности ограничиваются одним муниципальным образованием (Козловский район в Чувашии и ЗАТО Знаменск в Астраханской области). Различия в основных параметрах таких зон достигают гипертрофированных значений (табл. 1).

По величине территории предлагаемые зоны различаются в 3000 раз, по объемам образования

отходов почти в 200 раз, а по численности населения — в 144 раза. Только по плотности населения различия менее существенны — в 33,8 раза. А ведь это параметры, отражающие предполагаемую транспортную работу (площадь зоны), масштабы возможных грузоперевозок (объемы образования ТКО), степень освоенности территории и уровень концентрации социально-экономического потенциала (число жителей и плотность населения). Как ни парадоксально, но именно большей дифференциацией указанных параметров руководствуются в своих решениях авторы территориальных схем Новосибирской и Омской областей.

Интересны доводы, которые приводят сторонники единой зоны деятельности оператора на всей территории региона. И в Омской области и в Новосибирской они примерно одинаковы, как близки и черты хозяйственного освоения территорий областей. По мнению разработчиков новосибирского документа: «Основная часть населения сконцентрирована в Новосибирской агломерации, которая находится на востоке области... Учитывая данное обстоятельство, предоставляется затруднительным выполнение функций регионального оператора несколькими юридическими лицами, так как объективно не представляется возможным предоставить схожие условия исходя из территориального принципа разделения обязанностей».

В территориальной схеме Омской области аналогичная ситуация обосновывается экономическими расчетами. Проведены они для 6 вариантов деления Омской области. По результатам экономических оценок определено, что в целом, кластеры обращения с отходами (зоны действия операторов), не обслуживающие город Омск, экономически не привлекательны. Предполагаемая окупаемость зон деятельности операторов вне областного центра от 13 до 100,62 лет. Деление города Омска также не приводит (варианты 2, 4, 5) к экономической привлекательности большин-

**Таблица 1**

**Различия основных параметров предлагаемых зон деятельности региональных операторов в некоторых регионах**

Зона деятельности регоператора	Площадь		Население		Плотность населения		Ежегодный объем образования ТКО	
	км <sup>2</sup>	max/min раз	тыс. чел.	max/min раз	чел/км <sup>2</sup>	max/min раз	тыс. т	max/min раз
Новосибирская область	177 756	3002,6	2779,6	144,2	15,64	33,8	1269,5	192,3
Омская область	141 140		1972,6		13,98		1158,0	
Козловский район (Чувашия)	516,75		19,3		37,3		7,9	
ЗАТО Знаменск (Астраханская область)	59,2		27,9		471,9		6,6	

ства зон, следует также отметить высокий общий тариф (свыше 620 руб./куб. м) для северной зоны Омской области. Необходимо подчеркнуть, что это весьма редкий случай экономического расчета предполагаемых тарифов на удаление ТКО.

Вряд ли такой подход можно признать рациональным. Наличие больших территориальных различий требует, как правило, и конкретно-специализированных усилий по осуществлению любых видов экономической деятельности с учетом местных особенностей. Такая ситуация неизбежно вынудит единого оператора создавать специализированные территориальные подразделения, стремящиеся замкнуть основную часть процессов по обращению с отходами в границах своей зоны ответственности. Значительные вариации экономических показателей потребуют перераспределения финансовых потоков внутри компании и будут компенсированы, скорее всего, за счет тарифов для жителей столичной агломерации. А отсутствие конкуренции сделает деятельность оператора еще менее прозрачной и контролируемой. В имеющихся научных работах по социально-экономическому районированию России Омская и Новосибирская области объединяют по 5 экономических микрорайонов, представляющих собой достаточно целостные хозяйственные комплексы [7]. Это указывает на возможность более дробного зонирования территорий для целей эффективного обращения с ТКО.

Подобную точку зрения на принципы выделения зон деятельности региональных операторов демонстрируют авторы Архангельской территориальной схемы в области обращения с отходами. Они предлагают три варианта зонирования области на 10, 3 и одну зону. В первом случае границы зон определяются путем группировки муниципальных округов вокруг наиболее крупных объектов обращения с отходами, что уменьшает плечо вывоза и дает возможность в ряде муниципальных образований (Пинежский, Лешуконский районы, городские округа: Архангельск, Северодвинск, Новодвинск) транспортирования отходов по двухэтапной схеме. Как отмечают авторы, при этом варианте создаются условия высокой конкуренции, но объемы образования отходов в каждой зоне незначительны, что приводит к высоким издержкам операторов. Различия в удельных затратах операторов достигают 22-кратной величины, а к 2026 г. снизятся до 62 %.

Вариант деления области на 3 зоны действия региональных операторов включает в себя группировку муниципальных образований по равенству соотношения плечо вывоза — количество отходов. В таком варианте в одну зону входят муниципальные образования с высокой concentra-

цией населения, значительной массой образования отходов и с территорией, существенно уступающей двум остальным. Территории второй и третьей зон имеют состав муниципальных образований, сбалансированный по высокому и низкому количеству образования отходов, удовлетворяющий проектные мощности вводимых объектов обращения с отходами. При этом варианте объемы образования отходов по зонам отличаются в 2,8 раза, а предполагаемый тариф — в 9,5 раз.

Авторы архангельской территориальной схемы настаивают на реализации третьего варианта — создания на территории области единой зоны деятельности регионального оператора, мотивируя это соответствующими экономическими расчетами, хотя на рубеже 2026 г. тарифы одно- и трехзонного вариантов практически равны (4097 и 4300 руб./т с учетом НДС).

Одно- и двухзональные варианты схемы предлагают рассмотреть и территориальная схема обращения с отходами Калининградской области. При этом предлагается учитывать следующие положения:

1. Удельные финансовые затраты на содержание и обеспечение функционирования аппарата региональных операторов.
2. Уровень организации системы обращения с отходами.
3. Процесс формирования тарифов на обращение с отходами.
4. Уровень эффективности контроля со стороны органов государственной власти.
5. Прозрачность услуг по обращению с отходами.

В случае выделения двух зон они различаются по населению в 2,6 раза, по величине образующихся отходов в 2,3 раза. Отмечая за двухзональной схемой ряд преимуществ, разработчики все же признали наиболее приемлемым для реализации первый (одна зона) вариант. В сетке районирования России Е. Е. Лейзеровича на территории Калининградской области выделяются три экономических микрорайона [7].

По две зоны деятельности региональных операторов авторы-разработчики территориальных схем предлагают выделять в Астраханской, Иркутской и Мурманской областях. В Астраханской области обоснование выделения зон отсутствует. Зоны определены постановлением министерства ЖКХ Астраханской области от 12.08.2016 № 36-П «Об утверждении Порядка сбора твердых коммунальных отходов (в том числе их отдельного сбора) на территории Астраханской области». Вся область, за исключением ЗАТО Знаменск, отдана в распоряжение одного оператора. Необходимость выделения ЗАТО в самостоятельную опера-

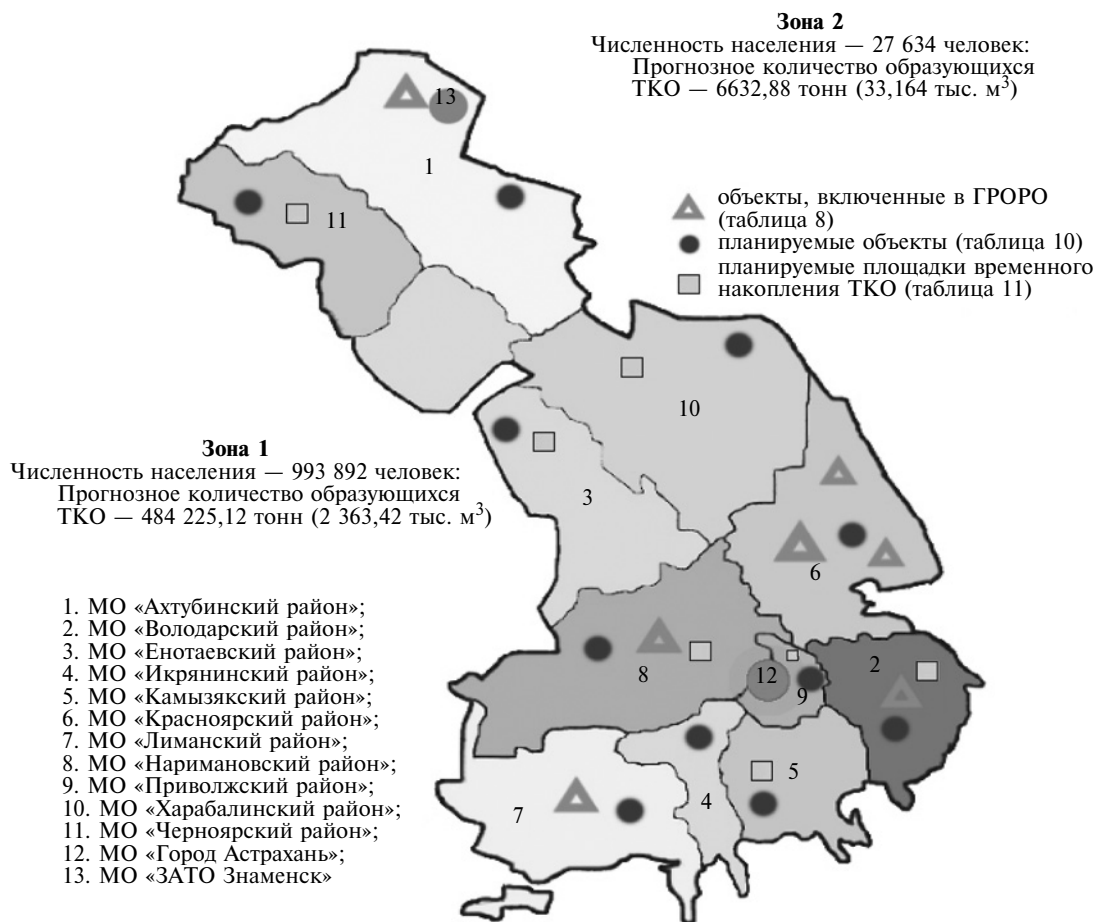


Рис. 1. Зонирование территории Астраханской области для региональных операторов, функционирующих в сфере обращения с отходами<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Источник: Территориальная схема обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, на территории Астраханской области, утвержденная постановлением Министерства ЖКХ Астраханской области от 23.09.2016 № 42-п.

ционную единицу определяется статусом муниципального образования и вынужденной спецификой деятельности оператора на его территории. При этом зоны различаются по населению в 35,6 раза, а по масштабам ежегодно образующихся отходов — в 73,4 раза (рис. 1).

Главным принципом, определившим сетку зонирования Иркутской области, было «наличие объектов инфраструктуры по обращению с ТКО». Предлагаемые зоны различаются по населению в 2,7 раза, по площади в 1,2 раза. Для региона, занимающего территорию в 775 тыс. км<sup>2</sup>, организация эффективной схемы обращения с отходами двумя операторами весьма проблематична. В схеме Е. Е. Лейзеровича Иркутской области отведены целых 9 микрорайонов [7].

В Мурманской области зоны деятельности региональных операторов определены исключительно по географическому признаку. На территории области выделены две технологические зоны,

весьма близкие по основным характеристикам, что позволяет рассчитывать на близость и их экономических параметров. Северная и Южная технологические зоны различаются по населению в 1,9 раза, объемам образования ТКО в 1,3 раза.

Два варианта функционального зонирования территории представлено и в территориальной схеме обращения с отходами Кемеровской области (рис. 2). При этом четко прописаны принципы их выделения:

1. Совпадение границ зон деятельности региональных операторов с административными границами поселений.

2. Введение единых тарифов региональных операторов на обращение с твердыми коммунальными отходами в различных зонах.

3. Максимальная ответственность регионального оператора за транспортирование твердых коммунальных отходов в пределах его зоны деятельности (минимизация перемещения твердых

коммунальных отходов между различными зонами деятельности).

Сопоставление вариантов деления Кемеровской области на две и три зоны показало, что деление на две зоны более эффективно как с точки зрения логистической модели, так и с точки зрения финансовой модели расчета тарифов. Удивительным образом в каждую из зон вписываются целостные экономические микрорайоны общероссийской сетки [7].

По три зоны деятельности региональных операторов предлагается выделить в Кировской области, Москве и Свердловской области. Принципы выделения зон в Кировской области не определены, но по основным характеристикам они существенно разнятся: по населению в 10 раз, по объемам образующихся отходов — в 6,3 раза.

Схема зонирования Кировской области приведена на рис. 3.

Разработчики территориальной схемы обращения с отходами города Москвы подошли к проблеме зонирования неординарно. Это единственная схема, где принципом зонирования являются особенности образования, обработки и утилизации отходов. Фактически это специализация территории. Авторы московской схемы предлагают выделить в городском пространстве три зоны:

1. Территории, на которых образуются и/или обрабатываются, утилизируются и обезвреживаются отходы при водоотведении и водоснабжении, предлагается дать условное название «Зона водоотведения».

2. Территории со значительной долей образования отходов в нежилом секторе по сравнению

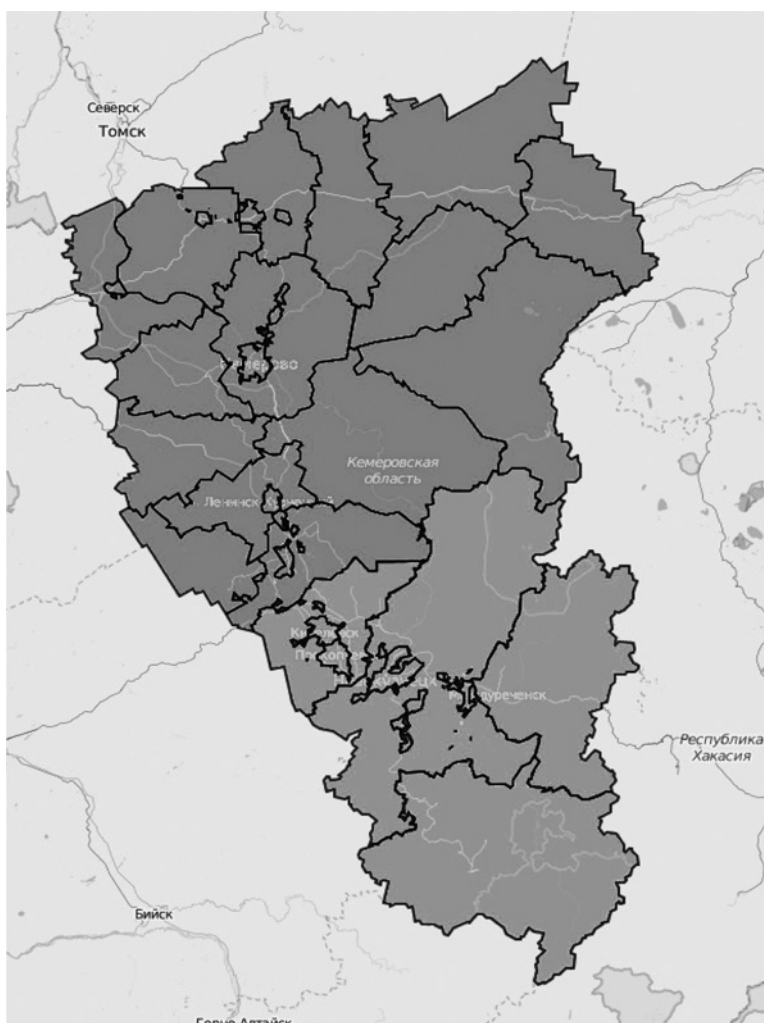


Рис. 2. Распределение муниципальных образований Кемеровской области по зонам деятельности региональных операторов<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Источник: Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Кемеровской области, утвержденная постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 26.09.2016 № 367.



Рис. 3. Схема зонирования Кировской области<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Источник: Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Кировской области, утвержденная распоряжением Министерства охраны окружающей среды Кировской области от 15.12.2016 г. № 20.

с жилым (не относится к Северному округу, где отходы тяготеют к жилому сектору) и очевидным превышением отходов производства над отходами потребления, можно дать условное название «Промышленная зона».

3. Территории со средними показателями по городу, можно дать условное название «Статистическая зона».

Зоны относительно незначительно различаются по основным характеристикам — по территории в 4,7 раза, населению — в 4,9 раза, объему

образования отходов — в 2,7 раза. Подход интересен тем, что специфика образования отходов способствует эффективному подбору наилучших технологий их обработки и утилизации.

Свердловская область в качестве зон деятельности региональных операторов предлагает выделить так называемые административно-производственные объединения (АПО), определяемые по следующим критериям:

1. Снижение затрат на вывоз и захоронение неутильных фракций ТКО.

2. Невозможность в ряде случаев доставки не утилизируемых фракций за пределы муниципального образования.

3. Наличие объектов обработки (переработки) и размещения отходов.

4. Каждая зона имеет в себе крупный административный центр, что дает возможность централизованного управления, а также решения вопросов и принятия решений относительно транспортной логистики.

5. Учитывалось распределение объемов отходов, образующихся на территории муниципальных образований. Учтен также тот факт, что объекты сортировки и захоронения отходов должны располагаться вдалеке от населенных пунктов.

Сам по себе перечень принципов отражает комплексный (социально-эколого-экономический) подход к оптимизации процессов обращения с отходами в регионе. Кроме того, по территориальной схеме в ряде АПО предусмотрено выделение кластеров, видимо в качестве специализированных территориальных структур региональных операторов.

По четыре зоны деятельности региональных операторов предполагается выделить в Республике Бурятия и Липецкой области. В Бурятии границы зон определяются:

1. Правилами проведения уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации конкурсного отбора региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 05.09.2016 № 881.

2. Обеспечением усреднения эксплуатационных издержек в сфере обращения с ТКО.

3. Созданием экономически привлекательных основ и социально приемлемых условий деятельности региональных операторов. Объединение источников образования с различным количеством отходов.

4. Наличием полного комплекса операций по обращению с ТКО.

5. Территориальной близостью источников образования друг к другу.

Большие территориальные диспропорции в размещении населения и хозяйства привели к тому, что зоны получились крайне неравнозначные. По населению они различаются в 7,2 раза, по объему образования отходов — в 387,4 раза. Сетка экономического микрорайонирования России предусматривала членение территории республики на 8 хозяйственных комплексов [7].

Очень близка к сетке экономического районирования России схема зонирования Липецкой области (4 зоны против 3 микрорайонов). Это

связано с принципами, положенными в ее основу. Они носят явный социально-экономический подтекст:

1. Число жителей. Соотношение городского и сельского населения.

2. Концентрация промышленности.

3. Уровень развития транспортной сети.

4. Объемы образующихся отходов.

5. Мощности объектов по переработке и размещению отходов.

Отсюда и относительная однородность выделенных зон. По годовому объему образования отходов они различаются только в 4,2 раза.

Неоднозначно подошли к проблемам зонирования территории авторы территориальной схемы обращения с отходами Приморского края. С одной стороны, они выделили в регионе 5 технологических зон (межрайонных систем), заложив в их основу показатели эффективности обращения с отходами. Согласно замыслу авторов межрайонные системы отличаются по характеру специализации и по основным направлениям развития. Технологическая зона представляет собой территорию, на которой образуются твердые коммунальные отходы, перемещение которых целесообразно и экономически обосновано осуществлять на один межмуниципальный объект обращения с ТКО на досортировку (при раздельном сборе отходов на контейнерной площадке) и обработку, а затем — в индустриальный парк на переработку и утилизацию.

Двусмысленность решения заключается в том, что к деятельности в зонах предполагается допустить только одного оператора.

Отличительной особенностью территориальной схемы являются три уровня обращения с твердыми коммунальными отходами.

На I уровне происходит сбор отходов. Он включает также приемные пункты вторсырья и площадки временного накопления отходов.

На II уровне находятся межмуниципальные комплексы ТКО, на которых происходит сортировка и захоронение отходов, не подлежащих дальнейшей переработке и использованию в качестве вторичного сырья. Согласно территориальной схеме не все собранные отходы будут поступать на межмуниципальные комплексы, часть из них, в случае селективного сбора отходов, поступит непосредственно на III уровень — в индустриальные парки.

III уровень — межмуниципальные экологические отходоперерабатывающие комплексы или индустриальные парки по переработке отходов. Территориальной схемой обращения с отходами предусмотрено создание 5 индустриальных парков в Партизанском, Надеждинском, Спасском,

Дальнереченском муниципальных районах и в Дальнегорском городском районе. Число зон, так же как и промышленных парков, близко к количеству экономических микрорайонов (7), выделяемых в Приморском крае.

Достаточно дробное зонирование территории предлагается в территориальных схемах обращения с отходами Воронежской, Орловской областей и Республики Чувашия. В первом случае предлагается сформировать 8 зон, каждая из которых характеризуется следующими признаками:

1. Объединяет несколько муниципальных образований.

2. Имеет достаточное число объектов, необходимых для эффективного обращения с отходами.

3. Организация зон соответствует положениям Комплексной схемы обращения с отходами на территории Воронежской области, утвержденной приказом департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 20.02.2014 № 49.

На территории Орловской области и Республики Чувашия выделено по 9 зон.

В качестве важнейших критериев выделения предлагается рассматривать:

1. Наличие полигонов для размещения отходов производства и потребления.

2. Учет направления потоков ТКО от сельских поселений, с попутным охватом других сельских поселений по пути транспортирования ТКО к мусороперегрузочной станции, а также расстоянием до самой станции.

3. Предпочтительное взаимодействие по транспортированию ТКО сельских поселений одного района.

В результате зонирование получилось слишком дробным, а параметры зон характеризуются большим разбросом. Например, в Чувашии зоны различаются по населению в 37,6 раза, объему образующихся отходов — в 39,1 раз, а в качестве самостоятельной зоны предлагается даже отдельный муниципальный район — Козловский.

В целом заметна тенденция — чем более освоена территория, чем плотнее она заселена и обустроена, чем радужнее ее дальнейшие перспективы, тем более дробным и «убористым» предлагается зонирование территории. В этом плане оправданно выглядит сетка из 11 зон деятельности региональных операторов, предложенная в территориальной схеме для Краснодарского края. Ранее там выделялось только 9 экономических микрорайонов.

### Результаты

При отсутствии единых принципов формирования зон деятельности региональных опера-

торов в большинстве разработанных субъектами Федерации территориальных схем зоны деятельности региональных операторов определены либо интуитивно, либо по признакам, не подкрепленным необходимыми научными изысканиями. В то же время в силу стратегической значимости документа к решению подобных задач необходимо подходить с позиции всесторонней научной обоснованности.

Зоны деятельности региональных операторов являются ключевым территориальным звеном региональной системы обращения с отходами. В основу таких звеньев должен закладываться целостный кластер, обеспечивающий рациональную схему сбора и удаления ТКО. Не исключено, что в пределах зоны деятельности регионального оператора могут замыкаться отдельные звенья обращения с отходами, в том числе и эффективная переработка утильных фракций ТКО.

При выделении зон деятельности региональных операторов целесообразно принимать во внимание результаты социально-экономического районирования регионов — делимитация целостных ТОС.

Эффективность функционирования региональных систем обращения с отходами во многом определяется интеграционным характером межмуниципальных взаимодействий, что серьезно сдерживается действующей нормативно-правовой базой.

В отдельных случаях целесообразно рассматривать выделение зон, включающих участки территорий двух и более субъектов Федерации. Особенно актуальна эта проблема для городов федерального подчинения (Москва, Санкт-Петербург, Севастополь) и их метрополитенских ареалов. Возможности такого взаимодействия предусмотрены в действующем законе «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [9].

Результаты деятельности территориальных комплексов по обращению с ТКО должны отвечать интересам региона, способствовать росту его капитализации (ценности) в системе координат российского и мирового сообщества, содействовать устойчивому развитию территории и повышению благосостояния населения.

Большинство указанных замечаний объясняется отсутствием предварительных научных обоснований определения понятия «зона деятельности регионального оператора», критериев их выделения, принципов формирования, параметров и показателей оценки эффективности. Решение этих вопросов должно базироваться на имеющемся научно-методологическом базисе социально-экономического районирования с учетом современных реалий.

## Библиографический список

1. Ощепкова А. З. Экологическая инфраструктура: реальность, требующая осмысления. Проблемы и перспективы географических исследований: юбилейный сборник научных трудов / А. З. Ощепкова, В. А. Столбов. — Пермь: ПГУ, 2001. — С. 70—84.
2. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 31.12.2017). — Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Столбов В. А. Региональный капитал / В. А. Столбов, М. Д. Шарыгин. — Пермь: ПГНИУ, 2016. — 528 с.
4. Белоногова Ю. О. Эффективное обращение с твердыми коммунальными отходами — одно из важнейших направлений решения экологических проблем территории / Ю. О. Белоногова, А. З. Ощепкова, В. А. Столбов // Урбанистика. Вестник ПНИПУ. — 2017. — № 4. — С. 5—23.
5. Районная планировка: справочник проектировщика. — М.: Стройиздат, 1986. — 325 с.
6. Хорев Б. С. Региональная политика в СССР. — М.: Мысль, 1989. — 284 с.
7. Лейзерович Е. Е. Экономические микрорайоны России. — М., 2004. — 128 с.
8. О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 31.12.2017 № 503-ФЗ. — Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. О стратегическом планировании в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 31.12.2017). — Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

---

## TERRITORIAL SCHEMES OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT AS A BASIS FOR SAFE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGIONS: REVIEW OF THE PRACTICE OF ALLOCATION AREAS OF ACTIVITY OF REGIONAL MUNICIPAL SOLID WASTE OPERATORS IN RUSSIAN REGIONS

**V. A. Stolbov**, Ph. D. (Geography), Associate Professor at the Department of Socio-economic geography, Perm State Research University, stolbov210857@mail.ru,

**Yu. O. Belonogova**, Head of Sector, Federal State Budgetary Institution "Ural State Research Institute of Regional Ecological Problems", belon@ecology.perm.ru,

**A. Z. Oshepkova**, Ph. D. (Technics), Deputy Director for Innovations, Federal State Budgetary Institution "Ural State Research Institute of Regional Ecological Problems", anna-z@ecology.perm.ru, Perm, Russia

## References

1. Oshepkova A. Z. Ecologicheskaya infrastruktura: realnost, trebuyuschaya osmysleniya. [The problems and prospects of geographical research: anniversary of scientific works]. A. Z. Oshepkova, V. A. Stolbov. Perm, PSU, 2001. P. 70—84. [in Russian].
2. Ob othodah proizvodstva i potrebleniya [Electronic resource]: Federal law No. 89-FZ of 24.06.1998 (as amended on 31.12.2017). Access from help legal system ConsultantPlus. [in Russian].
3. Stolbov V. A. Regionalny capital. V. A. Stolbov, M. D. Sharygin. Perm, PSU, 2016. 528 p. [in Russian].
4. Belonogova Yu. O. Effektivnoe obrashchenie s tverdymy kommunalnymy othodami — odno is vazhneyshih napravleniy resheniya ekologicheskikh problem territorii. Yu. O. Belonogova, A. Z. Oshepkova, V. A. Stolbov. Urbanistika. Vestnik PNIPU. 2017. No. 4. P. 5—23. [in Russian].
5. Rayonnaya planirovka: spravochnik proektirovshchika. Moscow, Sroyizdat. 1986. 325 p. [in Russian].
6. Horev B. S. Regionalnaya politika v SSSR. Moscow, Mysl. 1989. 284 p. [in Russian].
7. Leyzerovich, E. E. Economicheskies mikrorayony Rossii. Moscow. 2004. 128 p. [in Russian].
8. O vnesenii izmeneniy v Federalnyy zakon "Ob othodah proizvodstva i potrebleniya" i otdelnye zakonodatelnye akty Rossiyskoy Federatsii [Electronic resource]: Federal law No. 503-FZ of 31.12.2017. Access from help legal system Consultant Plus. [in Russian].
9. O strategicheskoy planirovaniy v Rossiyskoy Federatsii [Electronic resource]: Federal law No. 172-FZ of 28.06.2014 (as amended on 31.12.2017). Access from help legal system Consultant Plus. [in Russian].

## ТЯЖЕЛЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

П. И. Собакин, доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт биологических проблем  
криолитозоны Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИБПК СО РАН),  
radioecolog@yandex.ru,  
Якутск, Россия

Выполнены радиометрические и гамма-спектрометрические измерения на поверхности отвалов радиоактивных пород и руд, складированных возле геолого-разведочных горных выработок (штольни, шахты) на территории урановых месторождений Эльконского плато и Курунг. На основе полученных данных, отвалы как источники радиоактивного загрязнения природной среды, ранжированы на соответствующие классы производственных радиоактивных отходов. Приведены данные об уровнях содержания и особенностей распределения  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в почвах в условиях техногенного загрязнения. Показано, что в настоящее время загрязненность почв радионуклидами в отдельных участках горно-таежного ландшафта остаются высокими и превышают уровни санитарно-гигиенических норм для твердых радиоактивных отходов. На основании полученных закономерностей профильного распределения  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  установлено, что вертикальное распределение радионуклидов в почвенном профиле в основном зависит от времени и пути их поступления в почвенный покров и химических свойств элементов и, в какой-то мере, почвообразовательных процессов.

Radiometric and gamma-spectrometric measurements were performed on the surface of the dumps of radioactive rocks and ores stored near the geological exploration workings (tunnels, mines) in the territory of the uranium deposits of the Elkon Plateau and Kurung. On the basis of the data obtained, dumps as sources of radioactive contamination of the environment are ranked on the appropriate classes of industrial radioactive waste. The data on the levels and distribution features of  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in soils under technogenic pollution are presented. It is shown that at present the contamination of soils with radionuclides in some areas of the mountain-taiga landscape remains high and exceeds the levels of sanitary and hygienic standards for solid radioactive waste. Due to the obtained regularities of the profile distribution of  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$ , it was found that the vertical distribution of radionuclides in the soil profile mainly depends on the time and the way they enter the soil cover and the chemical properties of the elements and, to some extent, soil-forming processes.

**Ключевые слова:** Южная Якутия, Эльконский урановорудный район, почва, загрязнение,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , миграция, распределение.

**Keywords:** South Yakutia, the Elkon uranium ore region, soil, pollution,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , migration, distribution.

**Введение.** Эксплуатация атомно-энергетических объектов, а также промышленное и горнодобывающее производство увеличивают поступление тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) в окружающую среду. Дополнительные потоки ТЕРН придают особую актуальность работам, касающимся изучения особенностей поведения этой группы химических элементов в компонентах природной среды [1–4]. Техногенные изменения природной среды наряду с комплексом таких экологических факторов, как уровень почвенного увлажнения, видовой состав растений, рельеф местности, играют существенную роль в процессах перераспределения и локализации ТЕРН в пределах определенных территорий [5–7]. Одной из таких территорий является Эльконский урановорудный район в южной части Якутии, где складированы запасы урановых руд, извлеченные на дневную поверхность при проведении геологоразведочных работ. Цель настоящей работы состояла в оценке современных уровней содержания и особенностей распределения  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в наиболее типичных для этого региона типов почв в условиях техногенного загрязнения.

**Объекты и методы исследования.** На первоначальном этапе работ на выбранных участках урановых месторождений (Эльконское плато, Курунг) на поверхности отвалов радиоактивных пород и руд, складированных на территории законсервированных горных выработок (шахта, штольни) были проведены радиометрические и гамма-спектрометрические измерения по произвольным точкам с помощью радиометра СРП-68-01 и переносного гамма-спектрометра МКС-АТ6101Д [8]. На техногенных участках почвенные разрезы закладывали на разных расстояниях с учетом направления ветрового и водного рассеяния ТЕРН из отвалов радиоактивных пород как источников загрязнения. Отбор образцов почв из разрезов вели с учетом границ генетических горизонтов. Содержание  $^{238}\text{U}$  в почвах определяли рентгеноспектральным, а  $^{226}\text{Ra}$  — гамма-спектральными методами.

**Результаты исследования.** Результаты обследования показали, что в отвалах концентрация  $^{40}\text{K}$  варьирует от  $0,034 \cdot 10^{-2}$  до  $0,076 \cdot 10^{-2} \%$ ,  $^{238}\text{U}$  — от  $18,4 \cdot 10^{-4}$  до  $1004,2 \cdot 10^{-4} \%$ , а  $^{232}\text{Th}$  — от  $6,1 \cdot 10^{-4}$  до  $61,0 \cdot 10^{-4} \%$ . При этом на поверхности отвалов мощность экспозиционной дозы гамма-излучения изменяется от 40 до 1106 мкР/ч. Эффективная удельная активность радионуклидов (Аэфф.) в мелкоземле обследованных отвалов изменяется от 357 до 12 806 Бк/кг. При этом в рудных отвалах на месторождениях Эльконское плато и Курунг Аэфф. составляет 12 799 и 12 806 Бк/кг соответственно.

Согласно существующей классификации производственных отходов некоторые отвалы горных выработок месторождений Эльконское плато и Курунг по значениям Аэфф. можно отнести к производственным отходам второй и третьей категории, а остальные — к отходам первой категории. При этом для отходов второй и третьей категории требуется специальный учет, захоронение и контроль, а отходы первой категории можно использовать в строительстве дорог вне населенных пунктов [9]. Концентрация  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в аллювиальных почвах высоких пойм водотоков изучена по вектору стока от источников загрязнения (отвалы) речных систем: левый приток р. Курунг (месторождение Курунг) — р. Курунг — р. Элькон — р. Алдан. Анализ материала показал, что в аллювиальных почвах концентрация  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  снижается по вектору водного стока. В результате на удалении 43,6 км от источника загрязнения в пойме р. Алдан уровень концентраций этих радионуклидов соответствует фоновым значениям (таблица). На данном участке концентрация урана и радия в 28–56 и 13–22 раз соответственно меньше их концентраций вблизи отвалов радиоактивных пород. Результаты обследования показали, что на удалении до 2 км от радиоактивных отвалов месторождений Эльконское плато и Курунг концентрация  $^{238}\text{U}$  в почвах варьирует от  $5 \cdot 10^{-4}$  до 4,6 %, а  $^{226}\text{Ra}$  — от  $8 \cdot 10^{-11}$  до  $7,2 \cdot 10^{-8}$  %, что превышает их фоновые значения до четырех порядков величин. По уровню загрязненности  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  изученные почвы можно расположить в следующий убывающий ряд: лугово-болотные оторфованные > аллювиальные > подбуры, причем концентрация урана в лугово-болотных оторфованных почвах выше норм, установленных для твердых радиоактивных отходов [10]. Вертикальное распределение ГЕРН в почвенном профиле зависит от времени и пути их поступления в почвенный покров, химических

свойств радионуклидов и, в какой-то мере, почвообразовательных процессов. В почвенном профиле горно-таежного подбура, куда радионуклиды начали поступать только больше 40 лет назад, они распределяются по аккумулятивному типу без выраженного их иллювирования (рисунок.). Их аккумуляция в верхних слоях почвы обусловлена выдуванием мелкодисперсных фракций с поверхности радиоактивных отвалов, складированных в подножье водораздельного склона в горно-таежном ландшафте. В профиле лугово-болотной оторфованной почвы вертикальное распределение  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  разное. Это, возможно, обусловлено разной формой их нахождения в водном стоке, поступающем из отвалов в почву во время затяжных дождей. В данном месте уран из отвалов мигрирует преимущественно в составе жидкого, а радий — твердого стоков, что связано с химическими свойствами радионуклидов и особенностями состава сульфидных радиоактивных пород, формирующих химический состав водного стока. В горизонтах почвы, обогащенных органическим веществом, содержание  $^{238}\text{U}$  выше, чем в минеральных. При этом его самое высокое содержание приурочено к слою погребенного мха. В профиле лугово-болотной оторфованной почвы  $^{226}\text{Ra}$  распределяется по аккумулятивному типу. Фильтрация поступающих в почву атмосферных вод сопровождается сепарацией и накоплением мелкодисперсной взвеси, обогащенной  $^{226}\text{Ra}$  в верхних горизонтах почвенного профиля. В результате его концентрация резко убывает с глубиной. Вертикальное распределение  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в аллювиальных почвах сложное. Уран аккумулируется в верхней и погребенной органической части почв, что связано с его сорбцией из воды во время затопления поймы. Во время паводков при затоплении поймы обогащенная ураном вода фильтруется через почвенный профиль, что приводит к повышению содержания урана в

**Содержание  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в аллювиальных почвах (0–70 см) на разных расстояниях от отвалов горных выработок**

Водоток (река, ручей)	Расстояния от источника, км	$^{238}\text{U}$ , $n \cdot 10^{-4}$ %	$^{226}\text{Ra}$ , $n \cdot 10^{-11}$ %	$\frac{^{226}\text{Ra}}{^{238}\text{U}}$
руч. левый приток р. Курунг	0,3	$69,0 \pm 20^*$	$175,7 \pm 23$	0,74
руч. левый приток р. Курунг	0,9	$136,1 \pm 50$	$105,4 \pm 34$	0,22
р. Курунг	2,0	$5,1 \pm 3,0$	$7,2 \pm 2,5$	0,41
р. Курунг	13,0	$7,7 \pm 2,7$	$11,2 \pm 2,1$	0,42
р. Элькон	25,5	$4,6 \pm 2,0$	$11,7 \pm 2,3$	0,75
р. Элькон	34,0	$3,8 \pm 1,2$	$10,8 \pm 4,2$	0,83
р. Алдан	43,6	$2,4 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,4$	0,96

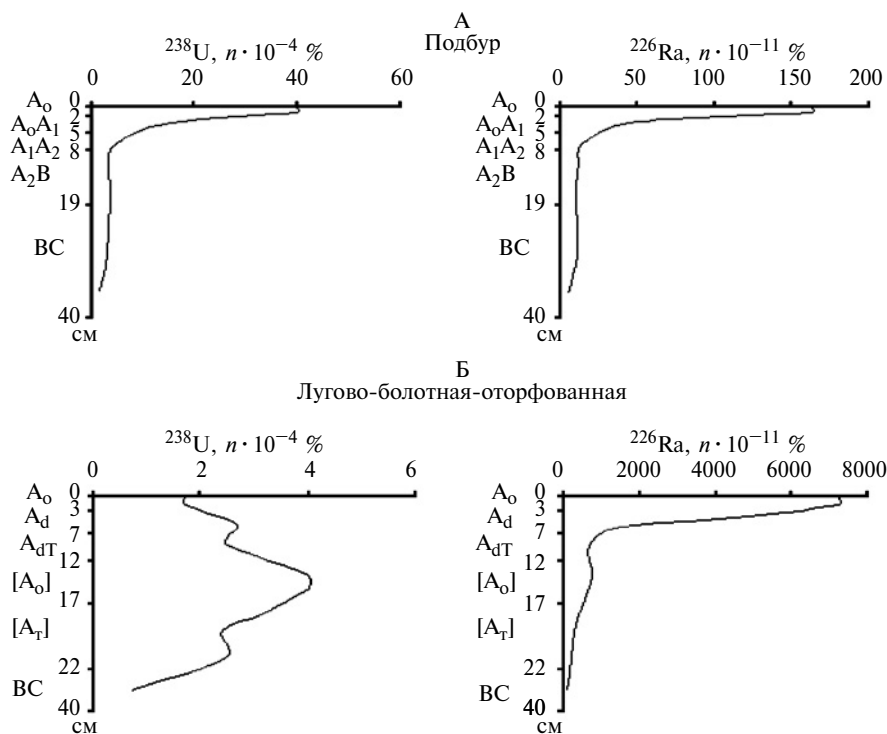


Рис. Распределение ТЕРН в почвенном профиле в зоне ветрового (А) и водного (Б) рассеяния из отвалов радиоактивных пород

слое лесной подстилки и гумусовом горизонте. На удалении 43,6 км от источника загрязнения не обнаруживается явных признаков его аккумуляции в органогенной части почвы поймы р. Алдан. На разном удалении от отвалов в профиле аллювиальных почв  $^{226}\text{Ra}$  распределяется неравномерно и без проявления каких-либо четких общих закономерностей. Лишь на расстоянии 34 и 43,6 км в поймах рек Элькона и Алдана характер вертикального распределения урана и радия в почвенных профилях становится практически одинаковым.

**Заключение.** На обследованных участках месторождений урана (Эльконское плато, Курунг) в Южной Якутии в зоне воздействия радиоактив-

ных отвалов содержания  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в почвах существенно превышают их фоновые значения. В профилях подбуров, формирующихся на водораздельных участках, в зоне ветрового рассеяния  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  из отвалов, эти радионуклиды распределяются по аккумулятивному типу, а в лугово-болотной оторфованной и аллювиальной почве гидроморфных пойменных участков ландшафта — по аккумулятивному и неравномерному типу.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБПК СО РАН на 2017—2020 гг. по разделу радиационный мониторинг и радиоэкологии мерзлотных ландшафтов Якутии (0376-2018-0001; рег. номер АААА-А17-117020110056-0).*

### Библиографический список

1. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Radioecological inspection of uranium deposit area with technogenic landscape violation in "Sakha" Republic (Yakutia) // Russian journal of nondestructive testing. 1994. No. 9. P. 74—79. [in Russian]
2. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Mobility of natural radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1996. Vol. 27. No. 1. P. 27—29. [in Russian]
3. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Migration natural heavy radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29. No. 2. P. 81—84. [in Russian]
4. Sobakin P. I., Gerasimov Y. R., Perk A. A. Radioecological conditions at geological-exploration sites and mining of radioactive raw material in Yakutia // Atomic energy. 2015. Vol. 117. No. 4. P. 294—297. [in Russian]
5. Собакин П. И. Особенности миграции тяжелых естественных радионуклидов в горно-таежных ландшафтах Южной Якутии. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Екатеринбург, 1998. 18 с.
6. Собакин П. И. Накопление тяжелых естественных радионуклидов мхами Южной Якутии // Сибирский экологический журнал. 2002. № 1. С. 29—34.
7. Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Y. R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the Elkon uranium mining district, Sothern Yakutia // Geochemistry international. 2015. Vol. 53. No. 11. P. 1002—1011. [in Russian]

8. Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов и поверхностной активности цезия-137 с применением спектрометра MKS-AT6101D. — Санкт-Петербург, 2007. — 13 с.
9. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Санитарно-эпидемиологические правила. СП.2.6.1.1292—03. — Москва: Минздрав России, 2003. — 36 с.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. — Москва.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. — 72 с.

---

## HEAVY NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS OF TECHNOGENIC LANDSCAPES OF SOUTHERN YAKUTIA

**P. I. Sobakin**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Leading Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (IBPC SB RAS), radioecology@yandex.ru, Yakutsk, Russia

### References

1. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Radio-ecological inspection of uranium deposit area with technogenic landscape violation in “Sakha” Republic (Yakutia). Russian journal of nondestructive testing. 1994. No. 9. P. 74—79.
2. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Mobility of natural radionuclides in the soil and land cover under conditions of technogenic pollution. Russian Journal of Ecology. 1996. Vol. 27. No. 1. P. 27—29.
3. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Migration of natural heavy radionuclides in the soil and land cover under the conditions of technogenic pollution. Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29. No. 2. P. 81—84.
4. Sobakin P. I., Gerasimov Y. R., Perk A. A. Radio-ecological conditions at geological-exploration sites and mining of radioactive raw material in Yakutia. Atomic energy. 2015. Vol. 117. No. 4. P. 294—297.
5. Sobakin P. I. Osobennosti migratsii tyazhelyh estestvennyh radionuklidov v gorno-taizhnyh landshaftah Yuzhnoj Yakutii [Features of migration of heavy natural radionuclides in the mountain-taiga landscapes of Southern Yakutia]. Avtoref. diss. kand. biol. nauk. [Thesis Abstract for Ph. D. in Biology]. Ekaterinburg, 1998. 18 p. [in Russian]
6. Sobakin P. I. Accumulation of heavy natural radionuclides by mosses of South Yakutia. Contemporary Problems of Ecology. 2002. No. 1. P. 29—34.
7. Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Y. R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the Elkon uranium mining district, Sothern Yakutia. Geochemistry international. 2015. Vol. 53. No. 11. P. 1002—1011.
8. Metodika vypolneniya izmerenij ehffektivnoj udel'noj aktivnosti prirodnyh radionuklidov i poverhnostnoj aktivnosti ceziya-137 s primeneniem spektrometra MKS-AT6101D [The method of measurements of the effective specific activity of natural radionuclides and surface activity of cesium-137 with the use of the spectrometer MKS-AT6101D]. St. Petersburg, 2007. 13 p. [in Russian]
9. Gigenicheskie trebovaniya po ogranicheniyu oblucheniya naseleniya za schet prirodnyh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. Sanitarno-ehpidemiologicheskie pravil [Hygienic requirements to limit public exposure to natural sources of ionizing radiation. Sanitary and epidemiological rules of the joint venture]. SP.2.6.1.1292—03. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2003. 36 p. [in Russian]
10. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): Gigenicheskie normativy [Radiation safety standards (NRB-99/2009): Hygienic standards]. Center of sanitary-epidemiological regulation, hygienic certification and expertise of the Ministry of health of Russia. Moscow, 2009. 72 p. [in Russian]

## ВЫПАДЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ

Е. А. Минакова, к. г. н., доцент кафедры биоэкологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, [elena.minakova@kpfu.ru](mailto:elena.minakova@kpfu.ru),

А. П. Шлычков, к. г. н., старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия

Приведены результаты анализа годовой изменчивости влажных выпадений из атмосферы соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги за период 2011—2015 гг. Выявлены основные особенности пространственного распределения биогенной нагрузки влажных атмосферных выпадений соединений азота и фосфора. Показано, что среднее значение модуля атмосферных выпадений соединений азота и фосфора составляет  $0,7 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$  и  $0,027 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ , соответственно.

The results of the analysis of the annual variability of total depositions of nitrogen and phosphorus compounds in the Middle and Lower Volga basin over the period of 2011—2015 are presented. The atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus compounds are calculated. The main features of the spatial distribution of the nutrient load of wet atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus compounds in the Middle and Lower Volga basin are identified. It was established that the moduli of the deposition of nitrogen and phosphorus compounds amounted to  $0.7 \text{ t N km}^{-2} \text{ year}^{-1}$  and  $0.027 \text{ t P km}^{-2} \text{ year}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** влажные выпадения, соединения азота и фосфора, биогенные элементы, бассейн Средней и Нижней Волги.

**Keywords:** wet sediments, nitrogen and phosphorus compounds, biogenic elements, the Middle and Lower Volga basin.

**Введение.** Среди современных проблем экологии особое место занимает проблема эвтрофикации водных объектов, обусловленная поступлением и накоплением биогенных элементов на водосборе и в водных объектах. Эвтрофикация — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием природных или антропогенных факторов. Основной движущей силой процессов эвтрофикации водоемов являются биогенные элементы (соединения азота, фосфора, углерода) [1]. Эти элементы являются важнейшими компонентами природных вод, которые определяют биологическую продуктивность. Избыточное количество биогенных элементов запускает процессы интенсивного роста водной растительности и ухудшения качества воды.

Для рационального управления водными объектами актуальным вопросом является количественная оценка внешней биогенной нагрузки на водосбор от точечных и диффузных источников (внесение органических и минеральных удобрений, поверхностный сток, животноводческие комплексы, выпадение из атмосферы) и т. д. [2—5].

Знание антропогенных источников эвтрофирующих веществ и количественная оценка их поступления в водотоки и водоемы открыли бы новые, более широкие возможности прогноза эвтрофирования и управления водными экосистемами [6].

Загрязнение атмосферного воздуха обусловлено как природными, так и антропогенными факторами. К природным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся выбросы в атмосферный воздух, обусловленные вулканической активностью, выветриванием горных пород, торфяными и лесными пожарами, а также пыльными бурями, и др. Так, только за счет вулканической активности в атмосферный воздух ежегодно поступает примерно 40 млн т вредных опасных для окружающей среды загрязняющих веществ. К антропогенным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся выбросы в атмосферный воздух объектов экономики, мобильных источников, а также полигонов твердых бытовых и промышленных отходов и свалок и др.

Газообразный молекулярный азот составляет 79 % воздуха атмосферы по массе. Естественными факторами поступления азота в атмосферу являются: почвенная эмиссия оксидов азота, в процессе деятельности живущих в почве денитрифицирующих бактерий, грозовые разряды, горение биомассы,

прочие источники естественных выбросов оксидов азота (окисление аммиака в атмосфере, разложение находящейся в стратосфере закиси азота и т. д.). Загрязнение атмосферного воздуха соединениями азота обусловлено сжиганием углеводородного сырья объектами энергетики и мобильными источниками выбросов. В то же время оксиды азота являются предшественниками нитрат-ионов во влажных атмосферных выпадениях. Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха соединениями азота вносят также объекты экономики, производящие некоторые виды удобрений, красителей и кислот. По данным Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, основная масса азота из атмосферы на подстилающую поверхность земли поступает в виде аммонийных солей [7].

Основными источниками поступления фосфора в атмосферный воздух являются эоловая эрозия почвенного покрова, торфяные и лесные пожары. Другие источники дают не более 1 % общего поступления фосфора [8]. Существенную роль могут играть продукты метаболизма наземной растительности (споры, пыльца, мелкие растительные остатки), что качественно подтверждается данными [9], но пока не может быть количественно оценено. Кроме того, так как состав атмосферных осадков определяется преимущественно процессами взаимодействия атмосферной влаги и аэрозолей, концентрация фосфора зависит главным образом от запыленности воздуха [10].

Одним из факторов, контролирующих эвтрофикацию водоемов и водотоков, являются сухие и влажные выпадения соединений азота и фосфора из атмосферного воздуха, что обуславливает необходимость изучения динамики этих процессов. По сути, сухие и влажные выпадения загрязняющих веществ с атмосферными осадками являются одним из механизмов самоочищения атмосферного воздуха. Сухие выпадения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха обусловлены влиянием гравитации, а влажные — сорбцией атмосферными осадками загрязняющих веществ с последующим поступлением их на подстилающий покров.

В продолжение ранее начатых исследований [11—14] цель данной работы — оценка величины атмосферных выпадений биогенных элементов и их пространственного распределения в бассейне Средней и Нижней Волги (без Волгоградской и Астраханской областей) в современный период.

**Материалы и методы исследований.** В качестве исходных данных для оценки атмосферных выпадений соединений азота и фосфора на поверх-

ность водосбора за период 2011—2015 гг. использованы материалы Федеральных государственных учреждений Росгидромета (ФГБУ Росгидромета), расположенных в бассейне Средней и Нижней Волги (табл. 1).

Поступление массы соединений азота на подстилающую поверхность зависит как от концентрации, так и от количества атмосферных осадков. Влажные выпадения соединений азота рассчитывались по формуле [7]

$$L_a = 10^{-3} \sum_{i=1}^{12} C_i r_i, \quad (1)$$

где  $L_a$  — атмосферная нагрузка, г/(м<sup>2</sup>год);  $C_i$  — среднемесячная концентрация компонентов, мг/л;  $r_i$  — месячная сумма осадков, мм/мес.

Ввиду того что Программой мониторинга Росгидромета не предусмотрено проведение регулярных наблюдений за содержанием фосфат-ионов в атмосферных осадках [15], оценка поступления удельной массы соединений фосфора, поступающих с влажными выпадениями в бассейне Средней и Нижней Волги, выполнена с использованием зависимости между соединениями азота и фосфора, приведенной в [16].

**Таблица 1**  
**Пункты наблюдений за химическим составом атмосферных осадков в бассейне Средней и Нижней Волги**

№ п/п	Название станции	ФГБУ Росгидромета
1.	Зилаир	ФГБУ «Башкирское УГМС»
2.	Стерлитамак	
3.	Чишмы	
4.	Уфа	
5.	Верхошижемье	ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС»
6.	Морки	
7.	Нижний Новгород	
8.	Саранск	
9.	Оренбург	ФГБУ «Приволжское УГМС»
10.	Пенза	
11.	Саратов	
12.	Тольятти	
13.	Азнакаево	ФГБУ «УГМС Республики Татарстан»
14.	Акташ	
15.	Бегишево	
16.	Бугульма	
17.	Вязовые	
18.	Казань	
19.	Мензелинск	
20.	Тетюши	

**Результаты и их обсуждение.** Рассчитаны средние значения влажных выпадений соединений азота и фосфора за 2011–2015 гг. в бассейне Средней и Нижней Волги, пространственное распределение которых приведено на рис. 1–2.

Анализ рис. 1 показывает, что величины средних значений влажных выпадений соединений азота общего распределены в бассейне Средней и Нижней Волги неравномерно. Области повышенных значений выпадений соединений азота выявлены на метеостанциях «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», «Морки» ФГБУ

«Верхне-Волжское УГМС» и «Уфа» ФГБУ «Башкирское УГМС», что наиболее вероятно обусловлено переносом этих веществ от крупных промышленных центров городов Самара, Ульяновск, Тольятти; Казань, Зеленодольск; Уфа соответственно.

Максимальное значение отмечено на метеостанции «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» ( $1,1 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ ). Минимальное значение  $0,4 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$  отмечено в Оренбургской области (метеостанция Оренбург ФГБУ «Приволжское УГМС»).

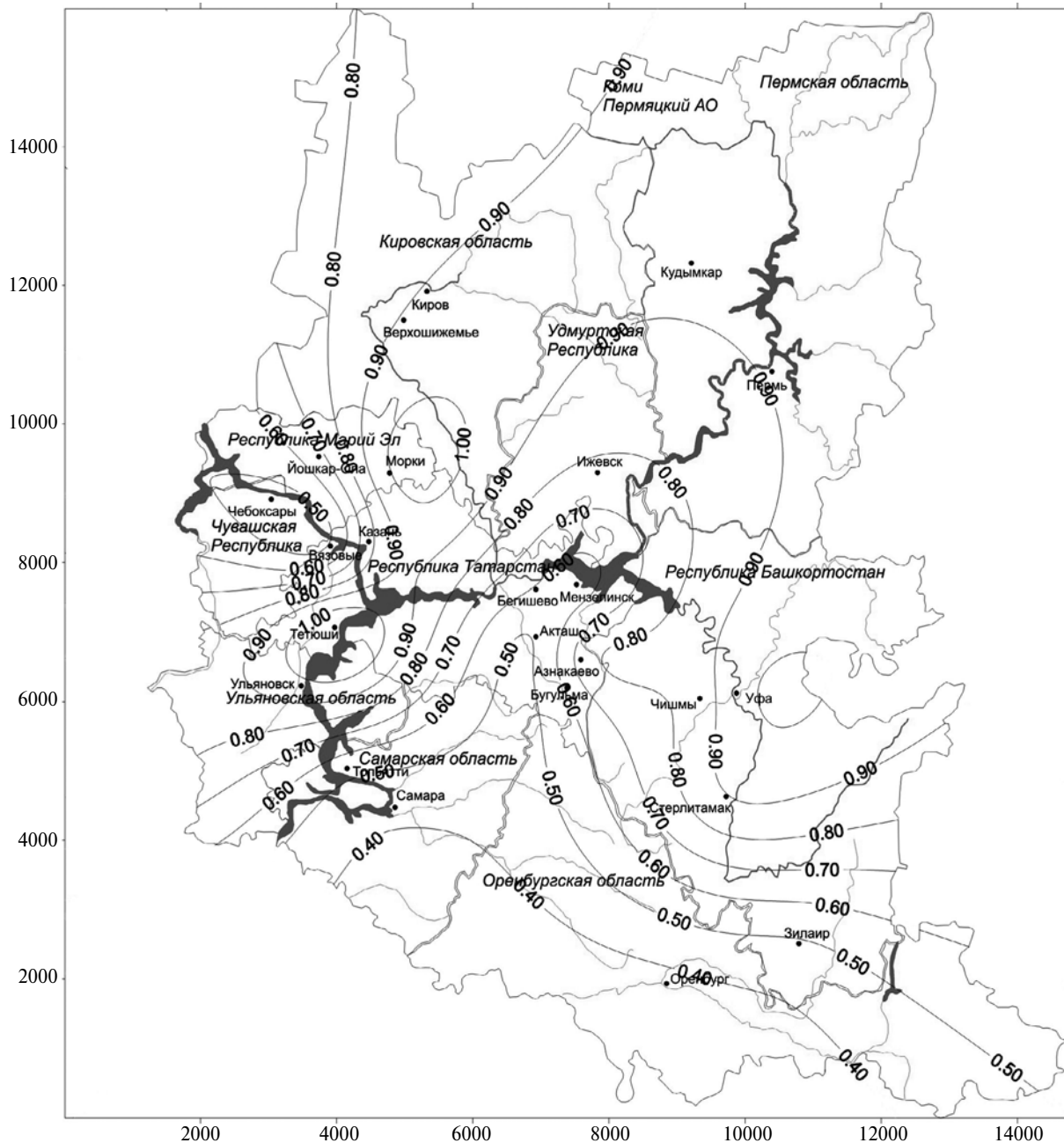


Рис. 1. Распределение средних значений влажных выпадений соединений азота за 2011–2015 гг. в бассейне Средней и Нижней Волги,  $\text{т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$

Пространственное распределение влажных выпадений соединений фосфора (рис. 2) показывает, что наиболее высокие значения отмечались на метеостанциях «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», «Морки» ФГБУ «Верхне-Волжского УГМС» и «Уфа» ФГБУ «Башкирское УГМС».

Максимальное значение влажных выпадений фосфора  $0,05 \text{ т Р км}^{-2} \text{ год}^{-1}$  выявлено на метеостанции «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан». Минимальное значение  $0,01 \text{ т Р км}^{-2} \text{ год}^{-1}$  — на метеостанции «Оренбург» ФГБУ «Приволжское УГМС».

Величина модуля атмосферных выпадений биогенных элементов на территории ряда регионов Российской Федерации (по данным собственных расчетов и данных, приведенных в [17]) даны в табл. 2.

Анализ табл. 1 показывает, что наблюдается хорошая сходимость величин модуля атмосферных выпадений соединений азота и фосфора на исследуемой территории с полученными ранее результатами других авторов [17].

Максимальная величина модулей атмосферных выпадений биогенных элементов отмечена в республике Мари Эл (соединения азота

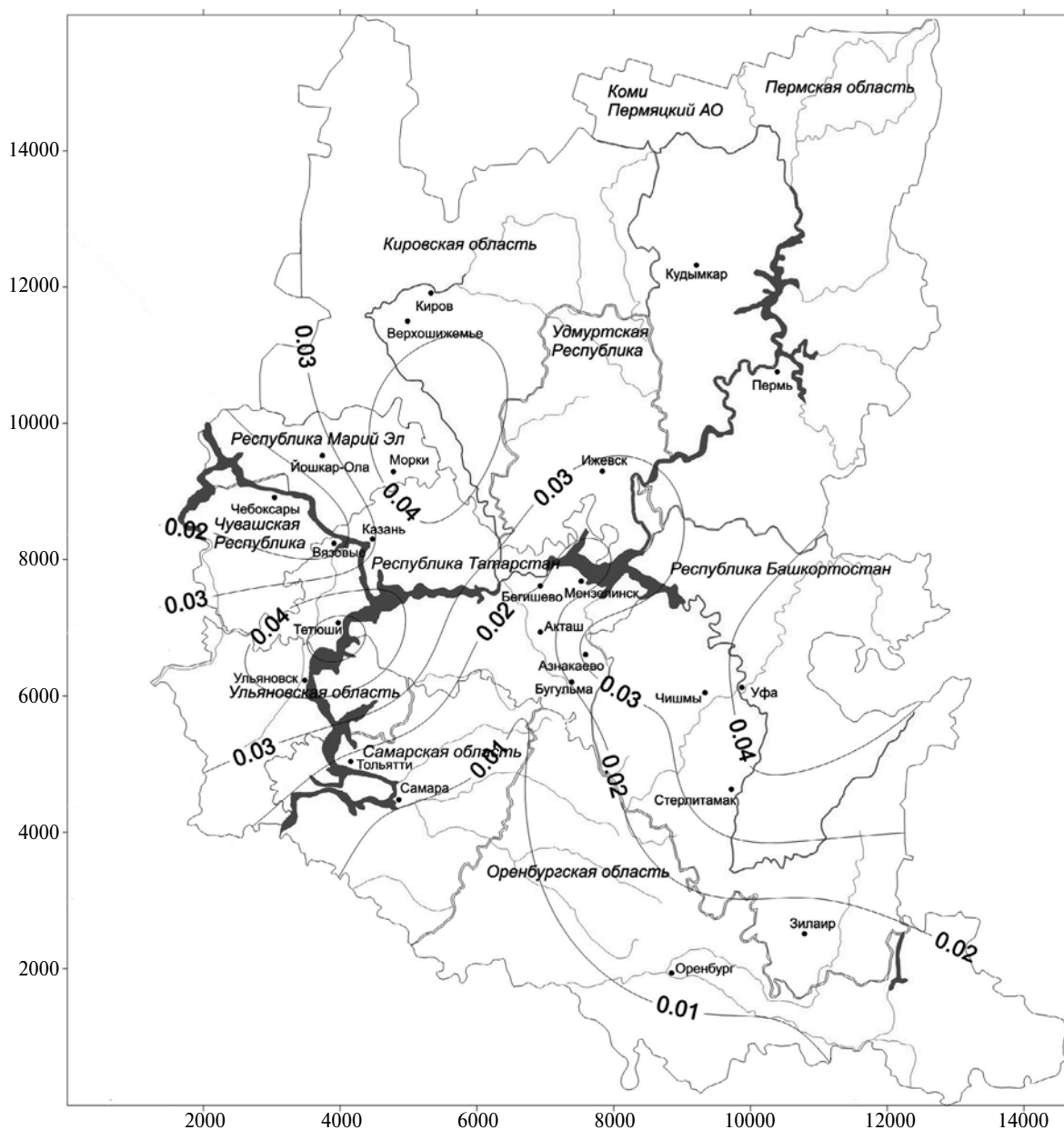


Рис. 2. Распределение средних значений влажных выпадений соединений фосфора за 2011–2016 гг. в бассейне Средней и Нижней Волги,  $\text{т Р км}^{-2} \text{ год}^{-1}$

**Таблица 2**  
**Величина модуля атмосферных выпадений биогенных элементов на территории некоторых регионов Российской Федерации**

Субъект Российской Федерации	Модули атмосферных выпадений биогенных элементов, т км <sup>-2</sup> год <sup>-1</sup>	
	Соединения фосфора	Соединения азота
Ленинградская область [15]	0,014	0,66
Московская область [15]	0,038	0,95
Нижегородская область	0,015	0,47
Кировская область	0,038	0,91
Республика Марий Эл	0,044	0,99
Республика Татарстан	0,025	0,67
Республика Мордовия	0,034	0,83
Пензенская область	0,036	0,87
Республика Башкортостан	0,032	0,80
Саратовская область	0,017	0,53
Самарская область	0,018	0,54
Оренбургская область	0,012	0,37

0,99 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и соединения фосфора 0,044 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>). Минимальное значение зарегистрировано в Оренбургской области (соединения азота 0,37 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и соединения фосфора 0,012 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>).

Среднее значение модуля влажных выпадений соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги за период наблюдений состав-

ляло 0,7 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и 0,027 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>, соответственно.

**Выводы.** 1. Выявлены основные особенности пространственного распределения биогенной нагрузки влажных атмосферных выпадений соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги. Установлено, что на исследуемой территории можно выделить три области повышенных значений, зарегистрированные метеостанциями «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», «Морки» ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» и «Уфа» ФГБУ «Башкирское УГМС» и обусловленные переносом веществ от крупных промышленных центров.

2. Экстремумы по соединениям азота и фосфора составили: минимальные значения 0,4 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и 0,01 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> (метеостанция «Оренбург» ФГБУ «Приволжское УГМС») и максимальные значения 1,1 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и 0,05 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> (метеостанция «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан»).

3. В бассейне Средней и Нижней Волги за период наблюдений 2011–2015 гг. модули выпадений соединений азота и фосфора составили 0,7 т N км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> и 0,027 т P км<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>.

4. Учитывая выявленную тенденцию роста значений выпадений соединений фосфора, а также его определяющую роль в эвтрофикации водоемов и водотоков, целесообразно организовать проведение систематических наблюдений за содержанием соединений фосфора в атмосферных осадках в системе Росгидромета на территории Российской Федерации.

### Библиографический список

1. Науменко М. А. Эвтрофирование озер и водохранилищ. Учебное пособие. — СПб.: изд. РГГМУ, 2007. — 100 с.
2. Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. — СПб.: Наука, 2007. — 253 с.
3. Латыпова В. З., Селивановская С. Ю., Степанова Н. Ю., Минакова Е. А. Развитие биогеохимических подходов к экологическому нормированию химической нагрузки на природные среды // Ученые записки Казанского государственного университета, том 147, кн. 1, 2005 г. С. 159–170.
4. Фрумин Г. Т. Выпадение биогенных элементов с атмосферными осадками на акватории трансграничного Псковско-Чудского озера. Общество. Среда. Развитие 2015 № 03 (36). — СПб.: Центр научно-информационных технологий «Астерион». — С. 175–178.
5. Novotny V. Diffuse (non — point) pollution — a political, institutional, and fiscal problem // J. Walter Pollut. Countr. Fed. — 1988. — Vol. 69, No. 8. — P. 1404–1413.
6. Фрумин Г. Т. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения / Г. Т. Фрумин, Л. А. Тимофеева // Биосфера. 2014. Т. 6, № 1. — С. 118–133.
7. Свистов П. Ф., Першина Н. А., Полищук А. И. Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков. // Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 гг. — М.: Росгидромет, 2007. — С. 41–43.
8. Савенко В. С. Атмосферные аэрозоли как источник фосфора в водных экосистемах // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 2. С. 187–196.
9. Cole J. J., Caraco N. F., Likens G. E. A significance source of phosphorus to an oligotrophic lake // Limnol. and Oceanogr. 1990. V. 35. № 6. P. 1230–1237.
10. Graham W. F., Duce R. A. The atmospheric transport of phosphorus to the western North Atlantic // Atmosph. Environ. 1982. V. 16. № 5. P. 1089–1097.
11. Валетдинов А. Р., Валетдинов Р. К., Валетдинов Ф. Р., Горшкова А. Т., Фридланд С. В., Шлычков А. П. Нормирование интенсивности загрязнения снежного покрова химическими элементами (на примере Республики Татарстан и ее крупных промышленных центров) // Безопасность жизнедеятельности. — Москва, 2008, № 10. — С. 17–20.

12. Минакова Е. А. / Роль метеорологических факторов в загрязнении малых рек / В. З. Латыпова, О. Г. Яковлева, Е. А. Минакова, Д. А. Семанов // Санкт-Петербург: Экологическая химия 2001 № 10 (2). — С. 115—123.
13. Минакова Е. А. Учет метеорологических факторов в управлении качеством поверхностных вод (на примере рек Казанка, Свияга, Степной Зай): дисс. ... канд. географич. наук: 25.00.36. — Геоэкология / Е. А. Минакова. — СПб., 2004. — 147 с.
14. Minakova E. A. Studying of processes of formation of quality of surface water in modern conditions of climate change / E. A. Minakova, A. P. Shlychkov, V. Z. Latypova // 14th SGEM GeoConference on Ecology, Economics, Education And Legislation, SGEM 2014 Conference Proceedings, Albena, Bulgaria, 17—26 June 2014. Vol. 2. — Sofia: STEF92 Technology, 2014. — P. 641—649.
15. Свистов П. Ф., Першина Н. А., Полищук А.И, Павлова М. Т., Семенец Е. С. // Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011—2015 гг. (Обзор данных). — СПбГТЭУ, 2016. — 115 с.
16. Савенко В. С., Савенко А. В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. — М.: ГЕОС, 2007. — 248 с.
17. Хрисанов Н. И., Осипов Г. К. Управление эвтрофированием водоемов. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — 278 с.

---

## LOSSES OF BIOGENIC SUBSTANCES WITH ATMOSPHERIC SEDIMENTS IN THE BASIN OF THE MIDDLE AND LOWER VOLGA

**E. A. Minakova**, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Kazan Federal University;

**A. P. Shlychkov**, Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.  
Kazan, Russia

### References

1. Naumenko M. A. Efvetrofirovanie ozer i vodoxranilishh. [Eutrophication of lakes and reservoirs]. *Uchebnoe posobie*. 2007. 100 p. [in Russian]
2. Kondrat'ev S. A. Formirovanie vneshnej nagruzki na vodoemy: problemy modelirovaniya. [Formation of external load on water bodies: modeling problems]. 2007. 253 p. [in Russian]
3. Latypova V. Z., Selivanovskaya S. Yu., Stepanova N. Yu., Minakova E. A. Razvitie biogeoximicheskix podxodov k ekologicheskomu normirovaniyu ximicheskoy nagruzki na prirodnye sredy. [Development of biogeochemical approaches to environmental regulation of chemical load on natural environments]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005. P. 159—170. [in Russian]
4. Frumin G. T. Vypadenie biogennyx elementov s atmosferynymi osadkami na akvatorii transgranichnogo Pskovsko-Chudskogo ozernogo kompleksa. [Deposition of biogenic elements with atmospheric precipitation in the waters of the transboundary Pskov-Peipsi lake complex]. 2015. P. 175—178. [in Russian]
5. Novotny V. Diffuse (non — point) pollution — a political, institutional, and fiscal problem. *J. Walter Pollut. Countr. Fed.* 1988. Vol. 69, No. 8. P. 1404—1413.
6. Frumin G. T. Transgranichnye vodnye ob'ekty i vodosbory Rossii: problemy i puti resheniya [Transboundary water bodies and catchments of Russia: problems and solutions]. 2014. P. 118—133. [in Russian]
7. Svistov P. F., Pershina N. A., Polishchuk A. I. Fonovyy uroven' ionnogo sostava atmosferynx osadkov. [The background level of ion composition of atmospheric precipitation.]. *Obzor zagryazneniya prirodnoj sredy v Rossijskoj Federacii za 2006 gg.* 2007. P. 41—43. [in Russian]
8. Savenko V. S. Atmosferynye aerozoli kak istochnik fosfora v vodnyx ekosistemax [Atmospheric aerosols as a source of phosphorus in aquatic ecosystems]. *Vodnye resursy*. 1995. P. 187—196. [in Russian]
9. Cole J. J., Caraco N. F., Likens G. E. A significance source of phosphorus to an oligotrophic lake. *Limnol. and Oceanogr.* 1990. P. 1230—1237.
10. Graham W. F., Duce R. A. The atmospheric transport of phosphorus to the western North Atlantic. *Atmosph. Environ.* 1982. P. 1089—1097.
11. Valetdinov A. R., Valetdinov R. K., Valetdinov F. R., Gorshkova A. T., Fridland S. V., Shlychkov A. P. Normirovanie intensivnosti zagryazneniya snezhnogo pokrova ximicheskimi elementami (na primere Respubliki Tatarstan i ee krupnyx promyshlennyx centrov) [Regulation of intensity of pollution of snow cover by chemical elements: a case study of the Republic of Tatarstan and its large industrial centers]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2008. P. 17—20. [in Russian]
12. Minakova E. A., Latypova V. Z., Yakovleva O. G., Semanov D. A. Rol' meteorologicheskix faktorov v zagryaznenii malyx rek [The role of meteorological factors in pollution of small rivers]. *Ekologicheskaya khimiya*. 2001. P. 115—123. [in Russian]
13. Minakova E. A. Uchet meteorologicheskix faktorov v upravlenii kachestvom poverxnostnyx vod (na primere rek Kazanka, Sviyaga, Stepnoj Zaj) [Accounting for meteorological factors in the management of the quality of surface waters: a case study of the rivers Kazanka, Sviyaga, Stepnoy Zay]. 2004. 147 p. [in Russian]
14. Minakova E. A., Shlychkov A. P., Latypova V. Z. Studying of processes of formation of quality of surface water in modern conditions of climate change. *SGEM 2014 Conference Proceedings*. 2014. P. 641—649.
15. Svistov P. F., Pershina N. A., Polishchuk A. I., Pavlova M. T., Semenets E. S. Ezhegodnye dannye po ximicheskomu sostavu i kislotnosti atmosferynx osadkov za 2011—2015 gg. [Annual data on chemical composition and acidity of atmospheric precipitation for 2011—2015]. 2016. 115 p. [in Russian]
16. Savenko V. S., Savenko A. V. Geoximiya fosfora v global'nom gidrologicheskom cikle. [Geochemistry of phosphorus in the global hydrological cycle]. 2007. 248 p. [in Russian]
17. Khrisanov N. I., Osipov G. K. Upravlenie efvetrofirovaniem vodoemov. [Control of eutrophication of reservoirs]. 1993. 278 p. [in Russian]



## ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ-АЗОТФИКСАТОРЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

А. А. Перк, научный сотрудник,  
*aaperk@mail.ru*,  
П. И. Собакин, доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
*radioecolog@yandex.ru*,  
ФГБУН Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН (ИБПК СО РАН),  
Якутск, Россия

Вопрос о подборе фитомелиорантов при рекультивации нарушенных территорий в условиях многолетней мерзлоты представляет большой интерес. В связи с этим, особое внимание привлекают растения-азотфиксаторы, например, ольха кустарниковая (*Alnus crispa* subsp. *fruticosa*). Ранее нами впервые были обнаружены актиноризные клубеньки у двух видов ольхи в разных флористических регионах Якутии. Замечено, что ольха кустарниковая массово распространена на участках урановых месторождений в Южной Якутии, где произошло загрязнение окружающей среды радионуклидами. Целью настоящей работы являлось изучение влияния разной степени загрязнения почвы радионуклидами ( $\gamma$ -фон от 10 до 600 мкР/ч) на образование клубеньков у ольхи кустарниковой. Содержание радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в почвенных и растительных пробах определяли гамма- и рентгеноспектральными методами. Показано, что даже на предельном уровне  $\gamma$ -фона у ольхи имеются клубеньки (8–12 г абсолютно сухого вещества на растение), а растения характеризуются высоким содержанием азота (2,3–3,1 % абсолютно сухого вещества). Делается вывод о необходимости более широкого использования древесных растений-азотфиксаторов для реабилитации нарушенных территорий, в том числе на участках с радиационным загрязнением в условиях криолитозоны.

The issue of phytomeliорants selection in the recultivation of the disturbed permafrost areas is of great interest. Therefore, special attention should be given to the plants that function as nitrogen fixers, for example, shrubby alder (*Alnus crispa* subsp. *fruticosa*). Previously, we found the actinorhizal nodules in two alder species growing in different floral regions of Yakutia. It has been observed that the alder grows extensively in the uranium deposit fields of South Yakutia, where the environment was polluted with radionuclides. The aim of this study is to investigate the influence of soil pollution with radionuclides of different degrees ( $\gamma$ -background from 10 to 600  $\mu\text{R/h}$ ) on the formation of the alder nodules. The content of radionuclides ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) in the soil and plant samples was determined by gamma- and X-ray spectral methods. It was shown that alder has nodules even at the maximum level of  $\gamma$ -background (8–12 g of absolutely dry substance per plant), and the plants are characterized by high nitrogen content (2.3–3.1 % of absolutely dry substance). The results point to the need in more extensive use of woody nitrogen fixers plants for the rehabilitation of disturbed areas, including the areas with radioactive contamination in the conditions of the cryolithozone.

**Ключевые слова:** *Alnus crispa* subsp. *fruticosa*, растения-азотфиксаторы, актиноризные клубеньки, радионуклидное загрязнение, Южная Якутия.

**Keywords:** *Alnus crispa* subsp. *fruticosa*, nitrogen fixers plants, actinorhizal nodules, radionuclide contamination, South Yakutia.

**Введение.** При рекультивации нарушенных территорий особое внимание привлекают растения, способные фиксировать атмосферный азот и переводить его в доступное состояние за счет симбиоза с бактериями-актиномицетами рода *Frankia* [1]. Во многих случаях актиноризная азотфиксация (до 200 кг азота/га в год и выше) может превосходить ризобияльную, — широко распространенную у бобовых растений.

К наиболее известным древесным актиноридным растениям-азотфиксаторам умеренных широт относят род ольха (*Alnus*) семейства березовые (*Betulaceae*), представленный в условиях Якутии, а также на большей части Сибири и Дальнего Востока, двумя основными видами — *A. hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr. (ольха волосистая) и *A. crispa* (Aiton) Pursh. subsp. *fruticosa* (Rupr.) Vапаев (ольха кустарниковая). Последний вид также известен как ольховник, или душекия и имеет много синонимов (*A. fruticosa* (Rupr.), *Alnaster fruticosa* (Rupr.) Ledeb., *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar) [2]. Он служит растением-эдификатором подлеска тайги, доходит до крайних северных пределов и может высоко подниматься в горы. Нами впервые обнаружены корневые клубеньки у обоих вышеперечисленных видов ольхи в условиях Якутии [3]. Ольха часто выступает пионером заселения нарушенных территорий, в том числе на участках урановых месторождений в Южной Якутии, где произошло загрязнение окружающей среды радиоактивными элементами [4]. Однако было неизвестно, сохраняют ли растения способность формировать клубеньки-азотфиксаторы в этих условиях.

Целью работы являлось изучение влияния разных уровней загрязнения почвы радионуклидами на образование клубеньков у ольхи кустар-

никовой — уникального растения-азотфиксатора в условиях криолитозоны.

**Материалы и методы.** Объектом исследования (2008—2017 гг.) являлась ольха кустарниковая — *Alnus crispa* (Aiton) Pursh. subsp. *fruticosa* (Rupr.) Vapaev, произрастающая в центральной части Алданского нагорья (Южная Якутия) на трех участках Эльконского горста (59° с. ш., 126° в. д., 650—770 м над уровнем моря) с разной степенью радиоактивного загрязнения. Вне отвалов опытные участки (условное обозначение — Элькон-1) были представлены оторфованными подбурами и подзолами, в районе отвалов (Элькон-2, Элькон-3) — мелкоземом горных пород. Анализировали образцы корневой системы растений (3—5 шт.) возрастом 5—15 лет и высотой 1,5—3,0 м. О возможном уровне азотфиксации судили по содержанию азота в % на абсолютно сухое вещество (АСВ) в органах растений стандартным методом Кьельдаля. Относительные ошибки измерений N не превышали 6 %. Регистрацию  $\gamma$ -фона осуществляли радиометром СРП-68-01. Содержание радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в почвенных пробах определяли гамма-спектрометром МКС-АТ6101Д,  $^{238}\text{U}$  в золе листьев — рентгенспектрометром АРФ-4.

**Результаты и обсуждение.** Самым высоким  $\gamma$ -фоном характеризовался участок Элькон-3 с превышением уровня над нормой в 60 раз (таблица).

Основной вклад в загрязнение вносил  $^{238}\text{U}$ . На отвалах в почве его было в 262,5 раза, а в листьях ольхи — в 16,0 раз больше, чем в контроле (Элькон-1).

На всех участках, в том числе с повышенными уровнями радиации, у ольхи были обнаружены клубеньки типичной кораллоподобной формы (рис. 1).

В приствольном круге (диаметр 0,5 м) у одного растения средняя масса сухих клубеньков достигала 8—12 г. Растения на контрольном участке (Элькон-1) образовывали много мелких клубеньков массой до 12 г (рис. 1, б). Это меньше, чем

#### Содержание радионуклидов в листьях *Alnus crispa* subsp. *fruticosa* и почве на разных по $\gamma$ -фону участках Эльконского горста (Южная Якутия)

Участки	$\gamma$ -фон, мкР/ч	листья, зола	почва		
		$^{238}\text{U}$ , мг/кг	$^{238}\text{U}$ , $10^{-4}$ %	$^{232}\text{Th}$ , $10^{-4}$ %	$^{40}\text{K}$ , %
Элькон-1	10	2	2	7,6	3,2
Элькон-2	35	12	25	9,1	3,5
Элькон-3	600	32	525	36,7	5,9

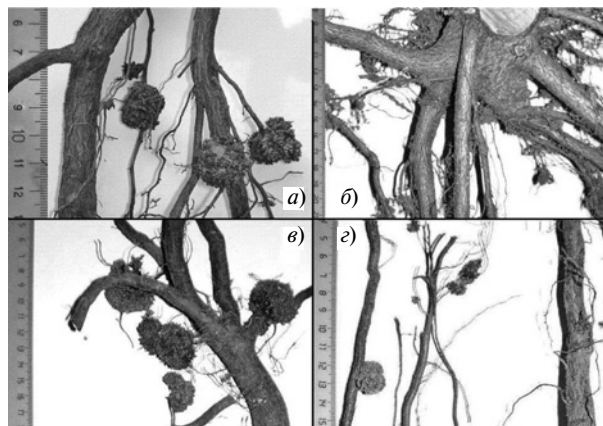


Рис. 1. Клубеньки на корнях *Alnus crispa* subsp. *fruticosa* на участке с разным уровнем  $\gamma$ -фона: а — Якутск (10 мкР/ч), б — Элькон-1 (10 мкР/ч), в — Элькон-2 (35 мкР/ч), з — Элькон-3 (600 мкР/ч). Масштаб в левой части снимков

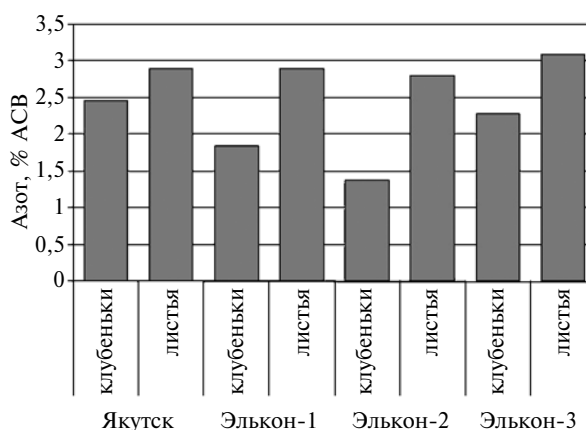


Рис. 2. Содержание азота (% АСВ) в клубеньках и листьях растений *Alnus crispa* subsp. *fruticosa* на участке с разным уровнем  $\gamma$ -фона: Якутск (10 мкР/ч), Элькон-1 (10 мкР/ч), Элькон-2 (35 мкР/ч) и Элькон-3 (600 мкР/ч)

найдено нами в условиях Центральной Якутии (20 г на растение) (рис. 1, а). На загрязненных участках Элькон-2 и Элькон-3 клубеньки по массе несколько уступали контролю — до 8 и 10 г на растение, соответственно (рис. 1, в, з). Они были в небольшом количестве, но весьма крупные — 1,5—2 см в диаметре, массой 0,6—0,9 г каждый и располагались на небольших корешках в основном до глубины 20 см. Азотфиксирующая способность клубеньков находится в прямой зависимости от их количества и массы, и может быть косвенно оценена по содержанию общего N в органах растений (рис. 2).

По количеству суммарного азота листья во всех случаях превосходили клубеньки за счет быстрого перераспределения элемента. Разница между органами по данному показателю достига-

ла 1,2 (Якутск) — 2,3 раза (Элькон-2). Самое высокое содержание азота было в клубеньках растений, произрастающих на загрязненном участке Элькон-3. Абсолютные значения N варьировали в клубеньках сильнее, чем в листьях и составляли в первом случае 1,4—2,5 % АСВ, а во втором — только 2,8—3,1 % АСВ. Уровень азота в листьях, в отличие от клубеньков, меньше зависел от степени загрязнения. Вероятно, растения на зараженных участках за многие годы повысили свою устойчивость к радиации, на что указывают показатели их семенной репродукции [4].

По нашим данным, у березы повислой (*Betula pendula* Roth) — растения того же семейства *Betulaceae*, что и ольха, но без наличия актиноризиды, в листьях содержится только 2,1 % N на АСВ. Таким образом, до 30 % азота, поступающего в надземные органы ольхи, могут иметь симбиотическое происхождение. Имеется опыт использования ольхи для фитомелиоративных работ в условиях Якутии, в том числе на отвалах алмазного карьера «Мир» и угольного разреза «Нерюнгринский» [5]. Вероятно, при посеве ольхи на новое место

целесообразен перенос туда и некоторого количества почвы ольховников с бактериями-симбионтами. Это может способствовать инокуляции семян и лучшему развитию растений. Также возможна разработка и внедрение актиноризидных удобрений с высокоэффективными штаммами, аналогичных выпускаемому препарату «Нитрагин» для бобовых растений.

**Заключение.** Впервые обнаружены актиноризидные клубеньки у растений *Alnus crispa* subsp. *fruticosa* на участках с повышенным фоном загрязнения радионуклидами в условиях Южной Якутии. Симбиотическая азотфиксация, вероятно, играет существенную роль в адаптации данного вида растений к дефициту почвенного питания в условиях постоянного радиационного стресса. Ольховые породы как ценные фитомелиоранты необходимо шире внедрять при рекультивации нарушенных территорий.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБПК СО РАН (рег. № АААА-А17-117020110056-0 и АААА-А17-117020110054-6).*

#### Библиографический список

1. Wall L. G. The actinorhizal symbiosis // *J. Plant Growth Regul.* — 2000. — Vol. 19. — P. 167—182.
2. Банаев Е. В., Адельшин Р. В. Структура *Alnus fruticosa* Rupr. S. L. и его взаимоотношение с другими таксонами подрода *Alnobetula* (Ehrhart) Peterman // *Сибирский экологический журнал.* — 2009. — Т. 16. — № 6. — С. 927—936.
3. Perk A. A., Petrov K. A. Root nodules in *Duschekia fruticosa* and *Alnus hirsuta* in cryolithic zone // *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International WS on C/H<sub>2</sub>O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia.* — Nagoya, 2007. — P. 99—102.
4. Журавская А. Н., Артамонова С. Ю., Филиппова Г. В. Радионуклиды и тяжелые металлы в системе радиоактивные отвалы—грунт—растение и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar // *Сибирский экологический журнал.* — 2012. — Т. 19. — № 2. — С. 295—303.
5. Миронова С. И. Проблемы биологической рекультивации нарушенных горнодобывающими предприятиями земель Якутии: современное состояние и перспективы // *Успехи современного естествознания.* — 2012. — № 11. — С. 11—14.

---

## WOODY PLANTS AS NITROGEN FIXERS UNDER THE CONDITIONS OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION OF SOUTH YAKUTIA

**A. A. Perk**, Researcher, aaperk@mail.ru,

**P. I. Sobakin**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Leading Researcher, radioecolog@yandex.ru,

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IBPC SB RAS), Yakutsk, Russia

#### References

1. Wall L. G. The actinorhizal symbiosis. *J. Plant Growth Regul.*, 2000. Vol. 19. P. 167—182.
2. Banaev E. V., Adelshin R. V. Structure of *Alnus fruticosa* Rupr. S. L. and its relationships with other taxa of subgenus *Alnobetula* (Ehrhart) Peterman. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009. Vol. 2. No. 6. P. 601—610.
3. Perk A. A., Petrov K. A. Root nodules in *Duschekia fruticosa* and *Alnus hirsuta* in cryolithic zone. *Proceedings of 3rd International WS on C/H<sub>2</sub>O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia.* Nagoya, 2007. P. 99—102.
4. Zhuravskaya A. N., Filippova G. V., Artamonova S. Y. Radionuclides and Heavy Metals in the Radioactive Dumps—Soil—Plant System and their Influence on Seed Progeny of *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar. *Contemporary Problems of Ecology*. 2012. Vol. 5. No. 2. P. 223—228.
5. Mironova S. I. Problemy biologicheskoy rekultivacii narushennyh gornodobyvayushchimi predpriyatiyami zemel' Yakutii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Problems of biological reclamation of disturbed by mining enterprises of the lands of Yakutia: current state and prospects]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in modern natural science]*. 2012. No. 11. P. 11—14. [in Russian]

## ПОСТПИРОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

А. П. Чевычелов, доктор биологических наук,  
главный научный сотрудник,  
Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН (ИБПК СО РАН),  
chev.soil@list.ru,  
Якутск, Россия

На Северо-Востоке России в равнинной части лесной покров представлен главным образом редкостойными лиственничниками, а в горных районах — кедровостланиковыми сообществами, которые характеризуются высокой горимостью. В последних отмечаются большие запасы лесных горючих материалов, которые составляют 14,07—42,55 т/га, при этом на долю мхов и лишайников, а также опада, относимых к проводникам горения I группы, приходится 33—57 % от общей фитомассы. Вследствие высокой грозовой активности доля грозовых пожаров в регионе в среднем составляет 35—49 % от их общего числа. Результаты исследований изменений мерзлотной дерново-карбонатной почвы Южной Якутии показали, что суммарное послепожарное уменьшение на 21 см данной почвы обусловлено в большей мере термпросадкой почвенного мелкозема и в меньшей мере — его поверхностным смывом и выгоранием органогенной части почвенного профиля. В мерзлотной области на Северо-Востоке России, особенно в горных гумидных районах, лесные пожары оказывают негативное влияние на состояние почвенного покрова.

The forests of the plain part of the Russian North-East are primarily represented by larch woodlands, while the mountainous part is represented by the Siberian dwarf pine communities, which are characterized by high frequency of wildfires. The latter are also characterized by the increased amount of forest fuels (14.07—42.55 tons/ha). Mosses, lichens and litter that belong to the 1<sup>st</sup> group of fire conductors make up 33—57 % of the total phytomass. Frequent summer thunderstorms are common for the studied area. Thus, the average number of wildfires caused by lightning during summer period makes up 35—49 % of the total number of wildfires. The results of the studies of changes in the permafrost sod-carbonate soil of South Yakutia showed that the total post-fire reduction by 21 cm of this soil is due to a greater extent to the thermal sap of the soil fine earth and to a lesser extent to its surface washout and burnout of the organogenic part of the soil profile. In the permafrost area of the Russian Northeast, especially in humid mountain regions, wildfires cause negative effect on soil cover.

**Ключевые слова:** лесные пожары, мерзлотные ландшафты, постпирогенные изменения почв.

**Keywords:** wildfires, permafrost landscapes, postpyrogenic changes of soils.

**Введение.** В лесном покрове Крайнего Северо-Востока России в условиях значительного сокращения лесозаготовок пирогенез стал главным фактором сукцессионных процессов в лесных сообществах [1]. Огонь в лесных районах распространения многолетней мерзлоты рассматривают как важный фактор, моделирующий поверхность и оказывающий влияние на геоморфологические процессы [2]. Целью настоящей статьи являлось изучение природы лесных пожаров на Северо-Востоке России и оценка их влияния на состояние почвенного покрова мерзлотно-таежной области.

**Методы исследования.** Исходные материалы для данной статьи получены как посредством проведения собственных исследований, так и привлечения всех опубликованных данных, имеющихся в нашем распоряжении. Определение запасов и состава фитомассы напочвенного растительного покрова исследуемых фитоценозов выполнено в соответствии с методами изучения биологического круговорота в различных природных зонах [3]. При определении пирогенных трансформаций мерзлотных почв использовались общепринятые в почвоведении профильно-генетический и сравнительно-аналитический методы, при этом почвенные показатели определялись по стандартным методикам [4].

**Полученные результаты и их обсуждение.** На Северо-Востоке России лесной покров представлен главным образом редкостойными лиственничниками и кедровостланиковыми сообществами, которые характеризуются высокой горимостью. В последних отмечаются большие запасы лесных горючих материалов, которые составляют 14,07—42,55 т/га, при этом на долю мхов и лишайников, а также опада, относимых к проводникам горения I группы, приходится 33—57 % от общей фитомассы. Вследствие высокой грозовой активности доля грозовых пожаров в регионе в среднем составляет 35—49 % от их общего числа. Лесные пожары на данной территории развиваются, главным образом, как устойчивые низовые или подстилочно-гумусовые. В данном регионе леса сухих местопроизрастаний горят с максимальной частотой раз в 10—15 лет, средних местопроизрастаний — раз в 60—70 лет, в то время как сырых местопроизрастаний выгорают один раз в 100—150 лет [5].

За последние десятилетия среднетаежные леса Якутии претерпевают существенные нагрузки из-за частых лесных пожаров и увеличения охватываемых пожарами территорий. Так, с 1990 по 2010 г. на всей территории республики зарегистрировано более 10 тыс. лесных пожаров на общей площади около 4,6 млн га [6]. На территории соседней Магаданской области в период с 1992 по 2006 г. наибольшее число возго-

Изменение физико-химических свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарный период

Горизонт	Глубина, см	рН <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Гумус, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы		Фракции, %		СО <sub>2</sub> карбонатов, %
				Са <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм	
До пожара, разрез 11-84								
A	0	6,1	31,5	53,5	17,8	—	—	Н.о.*
AB	9	6,8	5,2	26,9	17,9	38,0	65,0	-//-
Bm	25	7,4	2,7	24,8	15,6	44,6	81,0	0,7
BCca	45	7,7	1,2	—	—	41,5	77,0	2,2
После пожара, разрез 3-92 А								
A	0	7,3	9,4	33,4	35,7	—	—	Н.о.
AB	2	6,8	5,1	22,1	16,8	32,4	63,4	-//-
Bm	11	7,2	2,4	26,8	13,2	49,0	83,2	0,8
BCca	27	7,8	1,2	—	—	34,9	60,5	2,5

\*Н.о. — содержание не обнаружено.

раний отмечалось в 1993 и 1994 гг. в лесном фонде Магаданского лесхоза и соответственно составляло 208 и 130 случаев. На территории Чукотского автономного округа с 1985 по 2006 г. было зарегистрировано 1534 пожара. В настоящее время около 40 % территории лесного фонда автономного округа, пригодной для выпаса одомашненных северных оленей, занято разновозрастными гарями [1].

Постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв показаны нами на примере изменения показателей дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии, имевших место в послепожарный период (1985—1992 гг.). В ее морфологическом строении отмечены существенные от допожарного состояния изменения (табл. 1), сопровождаемые уменьшением мощности почвенного профиля (M) с 60 до 39 см. Изменились также физико-химические показатели исследованной почвы. Так, более чем на единицу сдвинулось значение рН в щелочную сторону поверхностного горизонта А, при этом одновременно почти втрое уменьшилось содержание органического вещества.

В составе почвенно-поглощающего комплекса данного почвенного горизонта почти в 1,5 раза уменьшилось содержание обменного кальция и в 2 раза увеличилось количество поглощенного магния [7].

Все выше отмеченные изменения морфологических характеристик данной почвы связаны с одновременным влиянием в послепожарный период следующих процессов (табл. 2).

При уничтожении огнем лесного полога глубина проникания теплового потока в почву возрастает в 1,5—2 раза от исходного, что приводит к аналогичному увеличению сезонного протаива-

ния почвогрунтов [8]. В связи с этим в мерзлотной палевой среднесуглинистой почве, развитой под листовенником брусничным в условиях Центральной Якутии, глубина сезонноталого слоя составляла около 80 см, тогда как на свежей 2-летней гари на данной почве она возросла уже в 1,5 раза, а на 10—12-летней гари — максимально в 1,8 раза и далее незначительно понижалась на 21—23-летней гари. При этом растительный покров здесь почти полностью восстанавливается в течение 50 лет после пожара, а уровень многолетней мерзлоты стабилизируется гораздо медленнее [9].

Итоговые результаты исследований послепожарных изменений свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы показали (см. табл. 2), что суммарное послепожарное уменьшение (на 21 см) мелкоземистой мощности данного почвенного разреза обусловлено в большей мере термопросадкой почвенного мелкозема и в меньшей мере — его поверхностным смывом и

Таблица 2

Изменение морфологических показателей мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарный период

Процесс	Горизонт	Потеря мощности	
		см	%
Выгорание ОВ	A	5,4	26
	A + AB	5,8	28
Поверхностный смыв мелкозема	A + AB + Bm + Bca	9,8	46
Термопросадка мелкозема			
Суммарно	M <sub>1</sub> — M <sub>2</sub>	21	100

выгоранием (минерализацией) органогенной части почвенного профиля. При этом среднегодовая величина поверхностного смыва для исследованной почвы за семилетний послепожарный период составила 0,8 см почвенного слоя. В условиях гумидных горно-таежных ландшафтов и маломощных зональных почв смыв мелкозема в постпирогенный период может привести к полной утрате

почвенного профиля и выходу на поверхность горных пород [10].

**Заключение.** На протяжении тысячелетий на Северо-Востоке России природные лесные пожары сопровождали мерзлотно-таежное континентальное почвообразование, оказывая решающее влияние на формирование свойств, состава и режимов криогенных почв.

### Библиографический список

1. Тихменев Е. А., Пугачев А. А., Тихменев П. Е. Роль пирогенного фактора в формировании лесного покрова побережья Тайской губы (Охотское море) // Вестник Северо-Восточного государственного университета. — 2009. — Т. 11, № 11. — С. 85—91.
2. Арефьева З. Н., Колесников Б. П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. — 1964. — № 3. — С. 30—46.
3. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилевич, А. А. Титлянова, В. В. Смирнов, Л. Е. Родин, Н. Т. Нечаева, Ф. И. Левин. — М.: Изд-во «Мысль», 1978. — 183 с.
4. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 272 с.
5. Чевычелов А. П. Лесные пожары на Северо-Востоке России и их влияние на почвенный покров // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2017. — № 2. — С. 51—58.
6. Протопопова В. В. Местная шкала пожарной опасности лесов по условиям погоды для Центральной Якутии // Наука и образование. — 2011. — № 2. — С. 74—77.
7. Чевычелов А. П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. — 2002. — № 3. — С. 273—277.
8. Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. — 120 с.
9. Лыткина Л. П. Лесовосстановление на гарях Лено-Амгинского междуречья: Центральная Якутия. — Новосибирск: Наука, 2010. — 118 с.
10. Пугачев А. А., Тихменев Е. А. Состояние, антропогенная трансформация и восстановление почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока Азии. — Магадан, 2008. — 183 с.

---

## POST-PYROGENIC TRANSFORMATIONS OF FROZEN SOILS OF THE NORTH-EAST OF RUSSIA

**A. P. Chevychelov**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Chief Researcher, Institute of Biological Problems of the Cryolithozone, SB RAS (BPC SB RAS), chev.soil@list.ru, Yakutsk, Russia

### References

1. Tikhmenev E. A., Pugachev A. A., Tikhmenev P. E. Rol pirogenogo faktora v formirovanii lesnogo pokrova poberezhia Taiskoi guby (Okhotskoe more) // Vestnik Severo-Vostochnogo gosudarstvennogo universiteta. [The role of the pyrogenic factor in the formation of the forest cover of the coast of the Thai Bay (the Sea of Okhotsk)]. *Bulletin of Northeastern State University*. 2009. Vol. 11, No. 11. P. 85—91. [in Russian]
2. Arefieva Z. N., Kolesnikov B. P. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnykh pochvakh Zauralia pri vysokikh i nizkikh temperaturakh. *Pochvovedenie*. [Dynamics of ammonia and nitrate nitrogen in forest soils of the Trans-Urals at high and low temperatures. *Soil science*]. 1964. No. 3. P. 30—46. [in Russian]
3. Bazilevich N. I., Titlyanova A. A., Smirnov V. V., Rodin L. E., Nechaeva N. T., Levin F. I. Metody izucheniia biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonakh [Methods of studying the biological cycle in various natural zones]. Moscow, Publishing House “Mysl”, 1978. 183 p. [in Russian]
4. Vorobieva L. A. Chemical analysis of soil. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1998. 272 p. [in Russian]
5. Chevychelov A. P. Lesnye pozhary na Severo-Vostoke Rossii i ikh vliianie na pochvennyi pokrov. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. [Forest fires in the North-East of Russia and their influence on the soil cover. *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*]. 2017. No. 2. P. 51—58. [in Russian]
6. Protopopova V. V. Mestnaia shkala pozharnoi opasnosti lesov po usloviyam pogody dlia Tsentralnoi Iakutii. *Nauka i obrazovanie*. [Local scale of fire danger of forests according to the weather conditions for Central Yakutia. *Science and Education*]. 2011. No. 2. P. 74—77. [in Russian]
7. Chevychelov A. P. Pirogenез i postpirogennye transformatsii svoistv i sostava merzlotnykh pochv. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Pyrogenesis and post-pyrogenic transformations of the properties and composition of permafrost soils. *Siberian Journal of Ecology*]. 2002. No. 3. P. 273—277. [in Russian]
8. Tarabukina V. G., Savvinov D. D. Vliianie pozharov na merzlotnye pochvy. [The effect of fires on frozen soils]. Novosibirsk, Nauka. 1990. 120 p. [in Russian]
9. Lytkina L. P. Lesovosstanovlenie na gariakh Leno-Amginskogo mezhdurechya: Tsentralnaia Iakutiia. [Reforestation on the burned areas of the Leno-Amginsky interfluvium: Central Yakutia]. Novosibirsk, Nauka. 2010. 118 p. [in Russian]
10. Pugachev A. A., Tikhmenev E. A. Sostoianie, antropogennaya transformatsiia i vosstanovlenie pochvenno-rastitelnykh kompleksov Krainego Severo-Vostoka Azii. [The state, anthropogenic transformation and restoration of soil and plant complexes of the Far Northeast Asia]. Magadan, 2008. 183 p. [in Russian]

## ЛЕТНЕЕ НАСЕЛЕНИЕ ПТИЦ В РАЙОНАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИЛЕНСКОГО ПЛАТО

**А. Г. Ларионов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского Отделения Российской академии наук (ИБПК СО РАН), Якутская государственная сельскохозяйственная академия (ЯГСХА), *larionov-a-g@yandex.ru*, Якутск, Россия,  
**М. В. Владимирцева**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук (ИБПК СО РАН), *sib-ykt@mail.ru*, Якутск, Россия

Изучение влияния трансформации естественных ландшафтов в результате хозяйственной деятельности на население животных актуально и имеет большое практическое значение. Цель проведенного исследования — оценка параметров населения птиц в условиях промышленного освоения западной части Приленского плато — Республика Саха (Якутия).

Основой для подготовки статьи послужили материалы, собранные нами во время полевых работ, проведенных большей частью во второй половине лета (2005, 2009, 2014 и 2017 гг.), в западной части Приленского плато. Для выяснения видового разнообразия и плотности населения птиц применялся метод маршрутного учета. В сообщении представлены данные о видовом составе и плотности населения птиц в основных естественных местообитаниях и на участках с антропогенной трансформацией ландшафта в западной части Приленского плато. Сочетание естественных ландшафтов с участками, трансформированными в результате хозяйственной деятельности, находящимися на разных стадиях сукцессионного процесса, обеспечивают значительную мозаичность биотопов. В результате этого в районах промышленного освоения западной части Приленского плато, вероятно, наблюдается большее видовое разнообразие и более высокая плотность населения птиц, чем на незагрязненных хозяйственной деятельностью человека соседних территориях.

The study of the impact of the natural landscapes transformation on animal population as a result of the economic activity is relevant, and of a great practical importance. The aim of the study is the assessment of the bird population parameters in the conditions of industrial development in the western part of the Lena River Plateau, the Republic of Sakha (Yakutia).

The basis for the paper preparation was the data collected by us during the field work carried out mostly in the second half of the summers (2005, 2009, 2014 and 2017) in the western part of the Lena River Plateau. The route count method was used to determine the species diversity and population density of birds. The report presents the data on the species composition and population density of birds in the main natural habitats and areas with anthropogenic landscape transformation in the western part of the Lena River Plateau. The combination of natural landscapes with the sites transformed as a result of economic activity at different stages of the succession process provides a significant mosaic of biotopes. As a result, there is probably greater species diversity and higher population density of birds in the areas with industrial development in the western part of the Lena River Plateau than in the adjacent territories unaffected by human activities.

**Ключевые слова:** Якутия, Приленское плато, маршрутные учеты птиц, видовое разнообразие, плотность населения птиц, естественные местообитания, антропогенные ландшафты.

**Keywords:** Yakutia, the Lena River Plateau, route bird counts, species diversity, bird population density, natural habitats, anthropogenic landscapes.

**Методы и результаты.** Значительные территории западной части Приленского плато остаются недостаточно изученными в орнитологическом отношении [1–6]. Цель проведенных нами исследований — оценка параметров населения птиц в условиях антропогенной трансформации природных ландшафтов западной части Приленского плато — Республика Саха (Якутия).

Основой для подготовки сообщения послужили материалы, собранные нами во время полевых работ, проведенных большей частью во второй половине лета (2005, 2009, 2014 и 2017 гг.), в западной части Приленского плато. Частично использованные данные были опубликованы [5]. Применялся метод маршрутного учета [7]. Видовые названия птиц приводятся по Л. С. Степаняну [8].

На обследованной территории западной части Приленского плато основные группировки растительности представлены среднетаежными лесами, основу которых составляют лиственница и сосна в различных сочетаниях. На водоразделах в сухих возвышенных местах преобладает сосна, на склонах — лиственница, по распадкам и долинам рек имеются участки, занятые ельниками, заболоченные участки и сырые луга, заросшие осоками и злаками, заросли ерника, кустарниковой березы и ивы. Опушки, просеки, гари зарастают кустарниками и травянистыми растениями.

Для выяснения параметров летнего населения птиц были проведены маршрутные учеты в следующих выделенных нами местообитаниях.

Водораздельные лиственничные и лиственнично-сосновые леса с примесью ели, березы, кедра, малозатронутые хозяйственной деятельностью. Условия обитания здесь достаточно однообразны. Основу населения птиц составляют типично лесные и опушечные виды. Плотность их населения

в данном биотопе в середине лета 2017 г. была невысока (порядка 40—70 особей/км<sup>2</sup>). Явно доминирующие виды здесь отсутствовали. К обычным птицам могут быть отнесены пеночка-зарничка, кедровка, пятнистый конек, буроголовая гаичка, вьюрок, обыкновенная чечетка, корольковая пеночка, ворон, рябчик, глухарь. На опушках отмечались лесной конек, чечевица, желтобровая овсянка, бурая пеночка, обыкновенная горихвостка. В 2009 г. в монотонных лесах и на гаях в районе исследований также отмечалось низкое разнообразие и суммарное обилие птиц 53—73 особей/км<sup>2</sup> [5].

В лесах по склонам долин, в долинах и поймах рек, а также на участках с антропогенной трансформацией природных местообитаний (зарастающие просеки пустоши, луга, дороги, ЛЭП) в результате увеличения мозаичности ландшафта возрастает видовое разнообразие за счет опущенных видов сибирский жулан, лесной конек, черноголовый чекан, краснозобый дрозд. Кроме этого, здесь обычны птицы, населяющие кустарниковые заросли: обыкновенная чечевица, соловей-красношейка, бурая и зеленая пеночки, обыкновенная горихвостка. На заболоченных участках в долинах рек и на участках с небольшими водоемами техногенного происхождения (дренажные каналы вдоль трубопроводов и дорог) отмечаются водно-болотные виды бекас, большой улит, перевозчик, чирок-свистун и горные трясогузки. На захлавленных лугах антропогенного происхождения не представляют редкости белая и желтая трясогузки. В таких местах чаще встречаются хищные птицы: полевой лунь, черный коршун, канюк, перепелятник. В середине лета 2017 г. наибольшая плотность населения птиц (169 особей/км<sup>2</sup>) отмечена на зарастающей пустоши среди леса вокруг нежилого вахтового поселка. Вне учета здесь были встречены пустельга и белшапочная овсянка. В мозаичных пойменных биотопах и в лесах с участками густого подроста в 2009 г. также была зарегистрирована высокая плотность населения птиц 139—171 особей/км<sup>2</sup> [5].

В вахтовых поселках в районе исследований доминирует белая трясогузка. Следует отметить, что эта птица представлена двумя подвидами *Motacilla alba ocularis* и *Motacilla alba baicalensis* [9]. В некоторые годы (2005, 2014 гг.) в крупном вах-

товом поселке в районе среднего течения р. Пелудуй в небольшом количестве отмечались домовые воробьи.

Линейные сооружения. Протяженные широкие просеки, по которым проложены технологические дороги, ЛЭП и трубопроводы служат своеобразными экологическими руслами, по которым птицы, характерные для речных долин: лесной конек, бурая пеночка, певчий сверчок, черноголовый чекан, сибирский жулан, желтая и горная трясогузки, перевозчик и др., проникают в лесные местообитания. Они заселяют здесь зарастающие опушки расчищенных от леса участков, небольшие луга антропогенного происхождения и дренажные каналы. В лесах вдоль опушки, которая удалена от обочины дорог, проложенных по широким просекам, концентрируются таежные птицы. В конце августа — первых числах сентября 2014 г. на просеках с дорогами, трубопроводами и ЛЭП регулярно отмечались мигрирующие стайки белых и желтых трясогузок.

**Заключение.** В целом сочетание разнообразных естественных ландшафтов с участками, трансформированными в результате хозяйственной деятельности, находящимися на разных стадиях сукцессионного процесса, обеспечивают значительную мозаичность биотопов. В результате в районах промышленного освоения западной части Приленского плато, вероятно, наблюдается большее видовое разнообразие и более высокая плотность населения птиц, чем на не затронутых хозяйственной деятельностью человека соседних территориях.

Следует отметить, что достоверное увеличение численности птиц в районах нефтепромыслов по сравнению с естественными биотопами отмечалось при освоении нефтяных и газовых месторождений в Западной Сибири [10].

*Исследования выполнены в рамках государственного задания Института биологических проблем криолитозоны СО РАН по проекту № АААА-А17-117020110058-4. Структура и динамика популяций и сообществ животных холодного региона Северо-Востока России в современных условиях глобального изменения климата и антропогенной трансформации северных экосистем: факторы, механизмы, адаптации, сохранение.*

## Библиографический список

1. Велижанин А. Г. Размещение водоплавающих птиц на реке Нюя // Фауна и биология гусеобразных птиц: Материалы IV Всесоюз. совещ. — М.: Наука, 1977. — С. 26—27.
2. Исаев А. П. К орнитофауне нижнего течения реки Витим // Почвы, растительный и животный мир юго-западной Якутии. Новосибирск: Наука, 2006. — С. 174—176.

3. Ларионов А. Г. Летнее население птиц среднего течения реки Пеледуй // Почвы, растительный и животный мир Юго-Западной Якутии. Новосибирск: Наука, 2006. — С. 176—182.
4. Дегтярев В. Г. Водно-болотные птицы в условиях криоаридной равнины. — Новосибирск: Наука, 2007. — 292 с.
5. Ларионов А. Г. Летнее население птиц западной части Приленского плато // Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций. М., 2011 — С. 134—145.
6. Емцев А. А. Интересные встречи птиц в окрестностях аэропорта Талакан (Юго-Западная Якутия) // Фауна Урала и Сибири. 2017. № 2. — С. 92—94.
7. Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография. Новосибирск: Наука, 2008. — 204 с.
8. Степанян Л. С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). — М., ИКЦ «Академкнига», 2003. — 808 с.
9. Шемякин Е. В., Ларионов А. Г. О находке забайкальской белой трясогузки *Motacilla alba baicalensis* в Якутии // Русский орнитологический журнал. 2018. Т. 27. № 1649. — С. 3741—3743.
10. Юдкин В. А., Вартапетов Л. Г., Козин В. Г. Изменения населения наземных позвоночных при освоении нефтяных и газовых месторождений на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 6. — С. 573—583.

---

## SUMMER POPULATION OF BIRDS IN AREAS OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN THE WESTERN PART OF THE LENA RIVER PLATEAU

**A. G. Larionov**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Associate Professor, Institute for Biological Problems of Cryolithozone under Siberian Branch of the Russian Academy for Sciences (IBPC SB RAS), Yakutsk State Agricultural Academy), larionov-a-g@yandex.ru, Yakutsk, Russia,

**M. V. Vladimirtseva**, Ph. D. (Biology), Researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone under Siberian Branch of the Russian Academy for Sciences (IBPC SB RAS), sib-ykt@mail.ru, Yakutsk, Russia

### References

1. Velizhanin A. G. Razmeshhenie vodoplavajushhih ptic na reke Njuja. *Fauna i biologija guseobraznyh ptic: Materialy IV Vsesojuz. soveshh.* [The location of the waterfowl on the Nyuya river. *Fauna and Biology of Geese: Proceedings of All-Union Meeting*]. Moscow, Nauka. 1977. P. 26—27. [in Russian]
2. Isaev A. P. K ornitofaune nizhnego techenija reki Vitim. [On the ornithofauna of the lower Vitim river]. *Pochvy, rastitel'nyj i zhivotnyj mir jugo-zapadnoj Jakutii. [Soils, plant and animal world of southern-western Yakutia]*. Novosibirsk, Nauka, 2006. P. 174—176. [in Russian]
3. Larionov A. G. Letnee naselenie ptic srednego techenija reki Peleduj. [The summer bird population of the middle reaches of the river Peleduy]. *Pochvy, rastitel'nyj i zhivotnyj mir jugo-zapadnoj Jakutii. [Soils, plant and animal world of southern-western Yakutia]*. Novosibirsk, Nauka, 2006. P. 176—182. [in Russian]
4. Degtyarev V. G. Vodno-bolotnye pticy v uslovijah krioaridnoj ravniny. [Wetland birds in the conditions of cryoarid plain]. Novosibirsk, Nauka, 2007. 292 p. [in Russian]
5. Larionov A. G. Letnee naselenie ptic zapadnoj chasti Prilenskogo plato. [Summer population of birds of the western part of the Lena Plateau]. *Pticy Sibiri: struktura i dinamika fauny, naselenija i populjacij. [Birds of Siberia: structure and dynamics of fauna and population]*. Moscow. 2011. P. 134—145. [in Russian]
6. Emtsev A. A. Interesnye vstrechi ptic v okrestnostjah ajeroporta Talakan (jugo-zapadnaja Jakutija). [Interesting meetings of birds in the vicinity of Talakan airport (South-West Yakutia)]. *Fauna Urala i Sibiri. [Fauna of Ural and Siberia]*. 2017. No. 2. P. 92—94. [in Russian]
7. Ravkin Ju. S., Livanov S. G. Faktornaja zoogeografija. [Factor zoogeography]. Novosibirsk: Nauka, 2008. 204 p. [in Russian]
8. Stepanyan L. S. Konspekt ornitologicheskoi fauny Rossii i sopredel'nyh territorij (v granicah SSSR kak istoricheskoi oblasti). [Conspect ornithofauna of Russia and adjacent territories (in borders of the USSR as a historical region)]. Moscow, IKC "Akademkniga", 2003. 808 p. [in Russian]
9. Shemyakin E. V., Larionov A. G. O nahodke zabajkal'skoj beloј trjasoguzki *Motacilla alba baicalensis* v Jakutii. [On the discovery of the Trans-Baikal white Wagtail *Motacilla alba baicalensis* in Yakutia]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*. 2018. Vol. 27. No. 1649. P. 3741—3743. [Electronic resource] available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-nahodke-zabaykalskoj-beloj-trjasoguzki-motacilla-alba-baicalensis-v-yakutii/vol-27/date-of-access-30.07.2018>. [in Russian]
10. Yudkin V. A., Vartapetov L. G., Kozin V. G. Izmenenija naselenija nazemnyh pozvonochnyh pri osvoenii nefjanyh i gazovyh mestorozhdenij na severe Zapadnoj Sibiri. [Changes in the population of terrestrial vertebrates in the development of oil and gas fields in the north of Western Siberia]. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal. [Siberian Ecological Journal]*. 1996. No. 6. P. 573—583. [in Russian]

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА УЧАСТКАХ ВЫРУБОК ЛИСТВЕННОЙ ТАЙГИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

**П. Я. Константинов**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, [konstantinov@mpi.ysn.ru](mailto:konstantinov@mpi.ysn.ru),  
**А. Н. Федоров**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, [fedorov@mpi.ysn.ru](mailto:fedorov@mpi.ysn.ru),  
 Институт мерзлотоведения  
 им. П. И. Мельникова Сибирского отделения  
 Российской академии наук (ИМЗ СО РАН),  
 Якутск, Россия

Приводятся данные 35-летнего мониторинга температуры многолетнемерзлых пород (ММП) на участках вырубок лиственной тайги в пределах экспериментального полигона «Умайбыт» (Центральная Якутия). Рассматриваемый регион относится к наиболее освоенным по сравнению с остальными районами Якутии. Естественные леса здесь в значительной степени подвергнуты антропогенному прессу в результате вырубки. Исследование влияния вырубок лиственной тайги на многолетние изменения температуры многолетнемерзлых пород является основной задачей проводимых исследований. В настоящее время эта задача приобретает особую актуальность, так как в условиях современного потепления климата отмечена тенденция к снижению устойчивости ММП в Центральной Якутии. Знание закономерностей многолетней динамики термических условий ММП в нарушенных ландшафтах необходимо в целях рационального использования природной среды, которое сможет максимально минимизировать риски деградации ММП и активизации нежелательных криогенных процессов. Эти работы продолжаются более 35 лет и к настоящему времени накоплены достаточно представительные материалы. Исследованиями выявлено, что восстановление температурного режима многолетнемерзлых пород в лесах, производных от постепенных и сплошных вырубок, в основном происходит через 20—25 лет после окончания рубочных работ. Процесс восстановления лесной растительности в местах бывших вырубок способен уменьшать амплитуду межгодовых колебаний температуры верхней толщи ММП, вызываемых воздействием современных изменений климата.

The data of 35-year monitoring of permafrost temperature at the sites for felling of the larch taiga within the Umabyt test site (Central Yakutia) are presented. The region under consideration is one of the most developed in comparison with the rest of Yakutia. Natural forests here are largely subjected to anthropogenic pressure as a result of logging. The study of the effect of felling of the larch taiga on perennial changes in permafrost temperature is the main objective of the research. At present, this task is of particular relevance, as in the conditions of modern climate warming there is a tendency towards a decrease in permafrost stability in Central Yakutia. The knowledge of the long-term dynamics of the thermal conditions of permafrost in disturbed landscapes is necessary for rational use of the natural environment, which can minimize the risks of permafrost degradation and enhance unwanted cryogenic processes. These works have been going on for more than 35 years and by now quite representative data have been accumulated. The studies have revealed that the restoration of the temperature regime of the permafrost in forests derived from gradual and continuous cutting, mainly occurs in 20—25 years after the end of cutting work. The process of restoring forest vegetation in the places of the former clearings can reduce the amplitude of the inter-annual fluctuations in the temperature of the upper permafrost strata caused by the impact of current climate change.

**Ключевые слова:** сукцессии, многолетнемерзлые породы, мониторинг, температура, глубина сезонного протаивания.

**Keywords:** successions, permafrost, monitoring, temperature, depth of seasonal thaw.

**Введение.** Растительный покров в криолитозоне относится к тем факторам, которые непосредственно формируют мерзлотные условия верхних горизонтов горных пород. Поэтому при его нарушении неизбежно будут происходить изменения основных параметров, характеризующих состояние ММП — температуры и глубины сезонного протаивания. Знание количественных изменений данных показателей очень важно для целей рационального использования мерзлотных ландшафтов, так как позволяет оценить пределы их устойчивости к возможной активизации криогенных процессов и начала деградации ММП.

**Модели и методы.** В работе приведены данные 35-летнего мониторинга температурного режима ММП на участках вырубок лиственной тайги в пределах экспериментального полигона «Умайбыт», расположенного на левобережье р. Лены в 4 км к западу от пос. Мохсоголлох (Хангаласский район РС(Я)). Полигон был образован в 1980—1981 гг. Институтом мерзлотоведения СО АН СССР для изучения восстановления мерзлотных ландшафтов на участках, подвергшихся антропогенному прессингу (Турбина, 1985; Федоров, 1985). На данном участке рубочные работы начали проводиться с 30-х годов прошлого века и достигли наибольших объемов в начале 60-х годов. К середине 70-х годов массовые заготовки древесины здесь были в основном прекращены. На полигоне в течение нескольких лет проводился комплекс ландшафтных и геофизиологических исследований с оборудованием серии термометрических скважин глубиной 20 м. Лабораторией криогенных ландшафтов ИМЗ СО РАН с 90-х годов здесь были возобновлены режимные термометрические измерения, продолжающиеся по настоящее время.

**Результаты исследований.** В геоморфологическом плане исследуемая территория относится к Абалахской террасе р. Лены и представляет собой плоскую равнинную поверхность, осложненную аласными котловинами. Коренные лист-

венничные леса без примеси прочих древесных пород сохранились только очень небольшими «островками». Почти всю основную площадь территории занимают вторичные березово-лиственничные леса и лиственнично-березовые леса, возникшие на месте вырубок разной интенсивности. На рисунке приведены графики температуры ММП на глубине 20 м на территории научного полигона за 35-летний период (1982—2017 гг.). Данный глубинный уровень находится немного ниже подошвы слоя годовых колебаний температуры в грунтах, поэтому хорошо отражает многолетнюю динамику термических условий ММП. По графикам видно, что на территориях, занятых островками коренных лиственничников (скважина 138) и березово-лиственничными лесами, производными от выборочных вырубок (скважины 134, 142) за период с 1982 по 2007 г. температура ММП была стабильной. За тот же период в лиственнично-березовых лесах, возникших на месте сплошных и постепенных вырубок (сква-

жины 136, 141), температура ММП понизилась на 0,2—0,4 °С и к середине 90-х годов прошлого века в основном вернулась к значениям, которые соответствовали исходному состоянию до проведения рубочных работ. Это произошло через 20—25 лет после прекращения рубочных работ (1970—1975 гг.) и стало возможным в результате сукцессионных процессов в растительном покрове, направленных на восстановление первичного состава растительных ассоциаций.

В конце августа 2006 г. в приленских районах Центральной Якутии выпала аномальная месячная сумма циклонических дождевых осадков. Уже в начале зимы 2006/2007 гг. переувлажненные почвогрунты были покрыты достаточно мощным снежным покровом, что привело к сильному сокращению зимних теплотерь грунтами, вызвавшее заметное потепление грунтовой толщи, последствия которого на глубине 20 м ощущаются по настоящее время. Максимальное повышение температуры на глубине 20 м наблюдалось

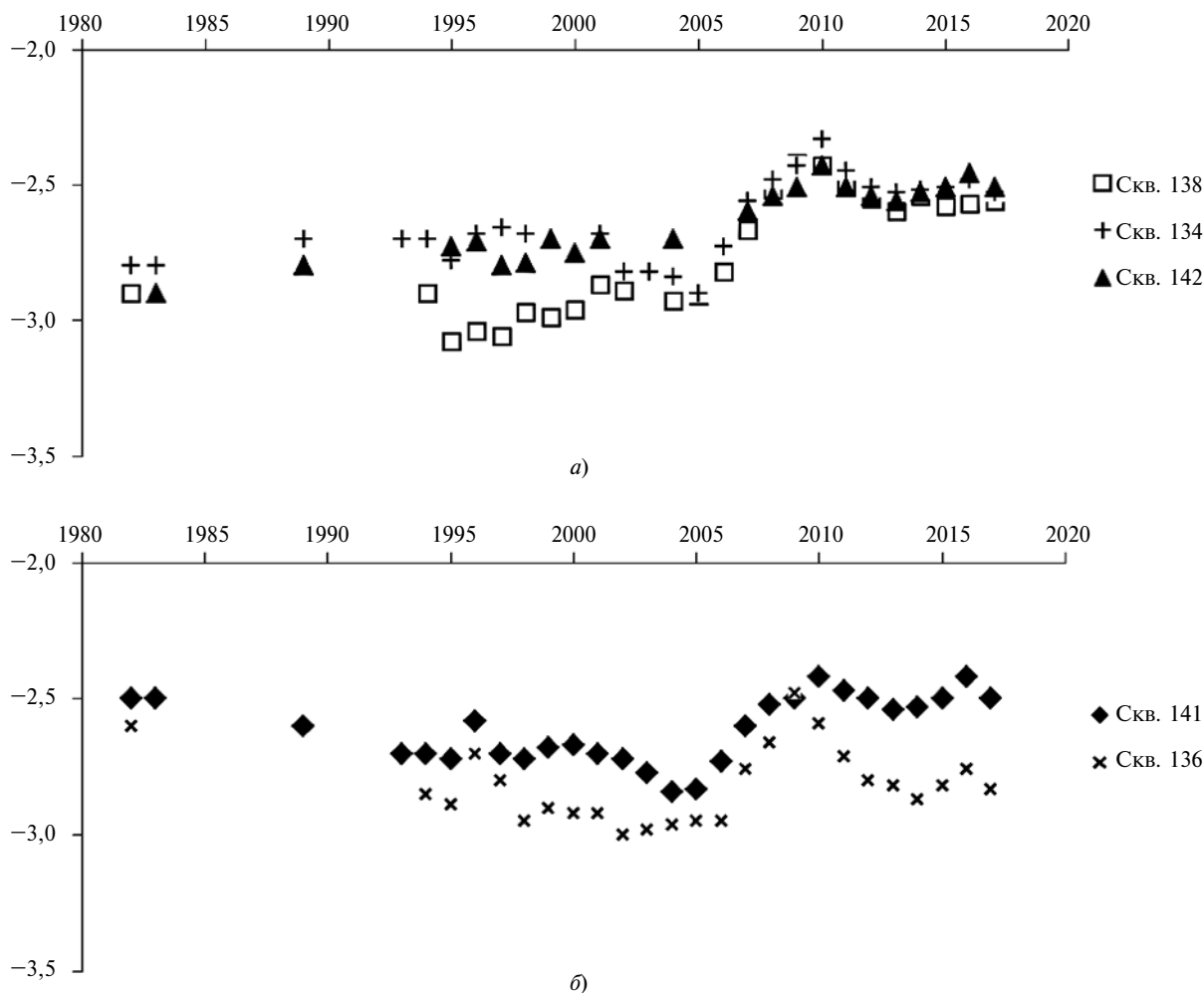


Рис. Многолетняя динамика температуры ММП (глубина 20 м) на участках с выборочными рубками и без рубок (а) и на участках с постепенными и сплошными рубками (б)

через 3–4 года после года с аномальными осадками. Оно составило в сохранившихся коренных лиственничниках и в местах бывших выборочных вырубок 0,5–0,8 °С. Этот показатель в лесах на месте бывших сплошных вырубок был несколько ниже — 0,4–0,5 °С. В период 2010–2017 гг. на всех участках происходило закономерное понижение температуры ММП в связи с возвращением ее к исходным значениям, наблюдавшимся до аномального 2006 г. Наиболее быстро этот процесс протекает на месте бывшей сплошной вырубки около скважины 136. Более быстрое падение температуры ММП на бывших сплошных вырубках можно объяснить продолжающимися здесь сукцессионными процессами в растительном покрове, которые сами способствуют понижению грунтовых температур.

**Заключение.** Проведенные мониторинговые исследования позволили установить, что в районе исследований восстановление температурного режима ММП в лесах, производных от постепенных и сплошных вырубок, в основном происходит через 20–25 лет после окончания выборочных работ. Процесс восстановления лесной растительности в местах бывших вырубок способен уменьшать амплитуду межгодовых колебаний температуры верхней толщи ММП, вызываемых воздействием современных изменений климата. Исследования на мониторинговом полигоне «Умай-быт» планируется продолжить, чтобы проследить дальнейшую динамику температуры ММП на поздних стадиях вторичной сукцессии, для которых характерно отмирание березняков и увеличение продуктивности лиственничного древостоя.

### Библиографический список

1. Турбина М. И. Сельскохозяйственное освоение ландшафтов с подземными льдами в Центральной Якутии // Охрана природы Центральной Якутии. — Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985, с. 31–42.
2. Федоров А. Н. Роль вырубок в развитии мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии // Региональные и инженерные геоэкологические исследования — Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1985, с. 111–117.

---

## LONG-TERM TEMPERATURE CHANGE OF THE PERMAFROST IN THE AREAS OF CUTTINGS OF THE LARCH TAIGA IN CENTRAL YAKUTIA

**P. Ya. Konstantinov**, Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), konstantinov@mpi.ysn.ru, Yakutsk, Russia,

**A. N. Fedorov**, Ph. D. (Geography), Head of the Laboratory, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), fedorov@mpi.ysn.ru, Yakutsk, Russia,

### References

1. Turbina M. I. Selskokhoziaistvennoe osvoenie landshaftov s podzemnymi ldami v Tsentralnoi Iakutii [Agricultural development of landscapes with underground ices in Central Yakutia]. *Ohrana prirody Central'noj Yakutii: Sb. nauch. tr.* Yakutsk, YAF SO AN SSSR, 1985. P. 31–42. [in Russian]
2. Fedorov A. N. Rol vyrubok v razvitii merzlotnykh ladshaftov Tsentralnoi Iakutii. [Cuttings influence for development of permafrost landscapes in Central Yakutia]. *Regional'nye i inzhenernye geokriologicheskie issledovaniya: Sb. nauch. tr.* Yakutsk, Institut merzlotovedeniya SO AN SSSR, 1985. P. 111–117. [in Russian]

## ЭКОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ПОЧВ САМАХИНСКОЙ СТЕПИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

С. Н. Балыкин, кандидат биологических наук, с. н. с., [balykins@rambler.ru](mailto:balykins@rambler.ru),  
А. В. Пузанов, доктор биологических наук, профессор, директор, [puzanov@iwer.ru](mailto:puzanov@iwer.ru),  
Т. А. Рождественская, кандидат биологических наук, с. н. с., [rtatara@iwer.ru](mailto:rtatara@iwer.ru),  
С. В. Бабошкина, кандидат биологических наук, с. н. с., [svetlana@iwer.ru](mailto:svetlana@iwer.ru),  
Д. Н. Балыкин, кандидат сельскохозяйственных наук, н. с., [balykindn@yandex.ru](mailto:balykindn@yandex.ru),  
И. В. Горбачев, н. с., [gorbachev@iwer.ru](mailto:gorbachev@iwer.ru),  
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН), Барнаул, Россия

В работе рассмотрены основные факторы почвообразования в условиях Самахинской межгорной котловины. Исследованы морфологические признаки и физико-химические свойства почв, развитых на песчано-галечниковых карбонатных отложениях под степной растительностью. Неравномерное распределение выпадающих атмосферных осадков, обусловленное особенностями микрорельефа котловины с наложением антропогенного фактора, определило неоднородность развития процесса выщелачивания и аккумуляции карбонатов в почвенном покрове. Представленные почвы отличаются каштановой окраской различных оттенков гумусовых горизонтов, непрочной комковатой или пороховатой структурой, растущим с глубиной обилием включений. Отмечено высокое содержание гумусовых веществ в поверхностных горизонтах, резко убывающее с глубиной, особенно на орошаемых участках. Почвы не засолены, отличаются, преимущественно, нейтральной реакцией почвенного раствора, сменяющейся щелочной в нижней части профиля. Обсуждены вопросы таксономической принадлежности исследуемых почв в рамках региональных и современной классификаций почв России. В соответствии с последней, представленные профили отнесены нами к стволу постлитогенных, к отделу палео-метаморфических, типу криоаридных почв. С учетом ведущей роли процессов перераспределения, накопления, миграции и трансформации карбонатов в криоаридных почвах их названия на уровне подтипа определены наличием и глубиной залегания карбонатов — выщелоченные и типичные.

The paper deals with the major factors of soil formation in the Samakha intermountain basin. The morphological features and physical and chemical properties of the soils located on sand — pebble carbonate sediments under steppe vegetation are investigated. The uneven distribution of precipitation caused by the microrelief peculiarities of the basin and anthropogenic factors are responsible for heterogeneity of carbonate leaching and accumulating in the soil cover. The soils under study have chestnut color of various shades of humus horizons, fragile lumpy or powdery structure, and abundance of inclusions growing with depth. A high content of humus substances in the surface horizons, sharply decreasing with depth, especially in irrigated areas, was noted. Soils are not saline, mainly with neutral reaction of soil solution, which becomes alkaline in the lower part of the profile. The taxonomic issues are discussed in the framework of the regional soil classification and the soil classification of Russia of 2008. According to the latter, we attribute the mentioned profiles to the trunk of postlithogenic, the department of paleo-metamorphic, the type of cryoarid soils. Taking into account the leading role of redistribution, accumulation, migration and transformation of carbonates in cryoarid soils and based on carbonates presence and occurrence depth, at a subtype level these are leached and typical soils.

**Ключевые слова:** Самахинская степь, криоаридные почвы, факторы почвообразования, морфология и физико-химические свойства, вопросы классификации.

**Keywords:** the Samakha steppe, cryoarid soils, soil formation factors, morphology and physical-chemical properties, classification issues.

**Введение.** Каждая из межгорных котловин Алтая является уникальным природным образованием, что в значительной степени обусловлено разнообразием и сложностью природно-климатических и антропогенных факторов, определивших их формирование и современный облик [1—3]. Некоторые сведения о почвенном покрове Самахинской степи отражены в работах Б. Ф. Петрова [4], А. В. Куминовой [5], Р. В. Ковалева [6], Г. С. Самойловой [7], С. Я. Кудряшевой [8], Д. В. Черных [9, 10]. Но, вероятно, в силу своей труднодоступности, он остается недостаточно изученным до настоящего времени.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследования являются степные почвы Самахинской межгорной котловины. Заложение и морфологическое описание профилей выполнено методами, широко используемыми в почвоведении [11—13]. Определение физико-химических показателей почвенных свойств — в соответствии с руководством по химическому анализу [14].

**Результаты и обсуждение.** Самахинская впадина расположена у подножия южного макросклона Южно-Чуйского хребта на границе Центрального и Юго-Восточного Алтая на высотах 1550—1600 м, протягиваясь на 15 км с юго-запада на северо-восток [8, 15]. Она является частью Самахинско-Джазаторского понижения, заложенного по зоне разломов, разделяющих Чуйско-Сайлюгемское поднятие и плоскогорье Укок [16]. Влияние центральноазиатского (монгольского) антициклона [17] с наложением котловинного эффекта [18] вызывает резкую континенталь-

ность климата Самахинской впадины, отличающейся холодным летом и суровой зимой (табл. 1). Среднегодовое количество осадков не превышает 300 мм, при этом на теплый период приходится около 76 % от годовой суммы [19].

Котловина характеризуется своеобразным холмисто-грядовым рельефом [20, 21], развитым на гляциальных и флювиогляциальных отложениях, представляющих собой глинисто-песчанисто-щебнистый субстрат, сцементированный карбонатами [8]. Центральная расширенная часть Самахинской котловины перегорожена моренным валом, поднимающимся над уровнем степи более чем на 60 м. Поверхность заметно осложнена террасами рек Коксу и Аргута, пятнами каменистых россыпей, гранитными и гнейсовыми валунами и глыбами [15].

Господствующим типом растительности для Самахинской котловины являются мелководно-винно-злаковые степи [5, 15, 21, 22]. Южную часть котловины занимают преимущественно тонконоговые, северную — полынно-лапчатково-типчачковые степи [15]. Урожайность сухой массы здесь может варьировать от 1,5 до 5,0 ц/га [23].

Специфика почвообразования в исследуемом районе определяется [1]: низкими среднегодовыми температурами и сезонной мерзлотой, малой годовой суммой осадков, очень коротким для развития растений и биологических процессов вегетационным периодом, низкой продуктивностью степных фитоценозов, преобладанием физико-механического выветривания, неоднородностью и значительной скелетностью почвообразующих пород, преимущественно легкого гранулометрического состава. Таким образом, в пределах Самахинской степи складываются предпосылки для развития специфических криоаридных почв, отражающих черты аридности палео- и современных климатических условий образования и наложенного — криогенеза [24, 25].

Было заложено пять почвенных профилей (рис. 1, 2). Профиль № 1 расположен на третьей террасе реки Коксу. Он имеет следующее морфологическое строение: АК<sub>гз</sub> 0—4 см — темно-каштановый, влажный, пылевато-мелкокомковатый, рыхлый, включения крупного песка, дресвы,

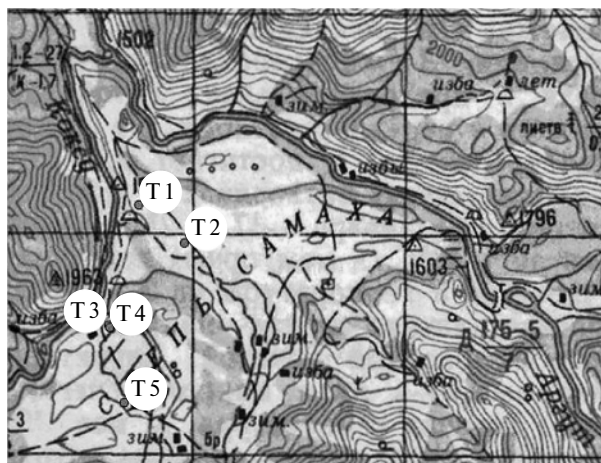


Рис. 1. Карта-схема расположения точек заложения почвенных профилей

обилие корней, переход заметный по отделению дернины; АК 4—17 см — светло-каштановый, сверху свежий, ниже — сухой, непрочно-пылевато-комковатый, уплотнен, включения крупного песка, корней, переход постепенный по цвету; ВРЛ 17—28 см — окрашен неоднородно, светлее предыдущего с палево-желтым оттенком, сухой, непрочно-комковатый, структура более выражена у корней, уплотнен, включения крупного песка, редко гальки, корней, переход постепенный; ВРЛ/С 28—36 см — палево-серый, по корням с бурым оттенком, сухой бесструктурный, включения гальки, редко корней, переход заметный, граница языковатая; С<sub>г</sub> 36—80 см — окрашен неоднородно, палево-серый с рыжеватыми пятнами, сухой, внизу свежий, бесструктурный, рыхлый, включения гальки, переход резкий к подстилающим песчано-галечниковым отложениям. Индекс «гз», предложенный М. И. Герасимовой с соавторами [26], использован для обозначения дернины. Остальные индексы горизонтов и признаков, здесь и далее, соответствуют классификации почв России в редакции 2008 г. [12].

Профиль № 2 выполнен так же на третьей террасе реки Коксу, но на следующем гипсометрическом уровне. Он представляет собой более остепненный вариант и отличается морфологическими признаками, приведенными ниже:

**Таблица 1**  
Средние многолетние месячные и годовые температуры воздуха и количество осадков на станции Джазатор (1960—1981 гг.) [19]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
T, °C	-24,2	-20,1	-12,5	-1,7	6,1	11,9	12,8	10,8	5,7	-2,6	-15,2	-23,5	-4,4
Осадки, мм	9,6	12,0	10,5	16,5	28,1	36,0	49,8	38,3	28,0	27,8	23,0	15,8	295,4

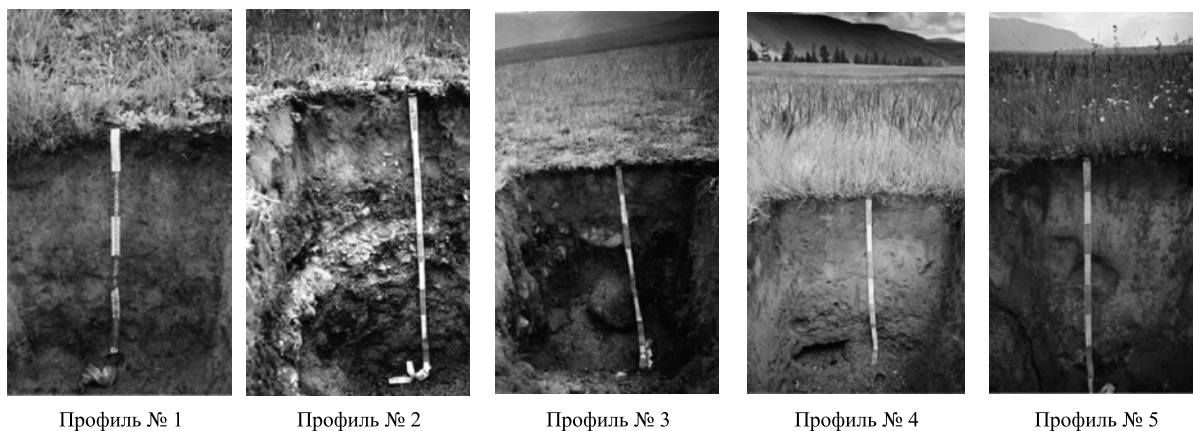


Рис. 2. Крαιοаридные почвы Самахинской степи

АК<sub>т</sub> 0—5 см — серовато-каштановый, свежий, непрочно-комковато-пылеватый, рыхлый, включения крупного песка на поверхности, обилие корней, переход заметный по цвету; АК 5—15 см — каштановый, непрочно-пылевато-комковатый, свежий, уплотнен, включения крупного песка, корней, редко гальки, переход постепенный по цвету; ВРL 15—22 см — палево-каштановый, непрочно-комковатый, сухой, уплотнен, включения крупного песка, гальки, реже корней, переход ясный по цвету; [АК<sub>дс</sub>] 22—34 см — бурый с коричневым оттенком, сухой, бесструктурный, обилие включений гальки, редко корней, переход ясный по цвету, граница ровная; [АК/С<sub>hi, ic</sub>] 34—70 см — окрашен неоднородно, палево-серый с рыжеватобурыми пятнами, сухой, бесструктурный, обилие включений гальки с новообразованиями карбонатов на нижней поверхности («бородки»), переход резкий; [С<sub>ca, f</sub>] > 70 см — окрашен неоднородно, серый с рыжеватыми пятнами, увлажнен, бесструктурный, рыхлый, включения крупного песка. Индекс «tr» (от лат. trample — вытаптывать) предложен нами и используется для обозначения малого горизонта, подверженного интенсивному вытаптыванию (в данном случае при выпасе скота). В классификации почв России [12] предложен индекс «d» (вероятно, от лат. densa — плотный) для обозначения признаков, являющихся результатом воздействия рекреационных нагрузок, а также выпаса. Но в нашем случае результатом такого рода воздействия стало, прежде всего, разрушение структурных элементов без существенного уплотнения благодаря супесчаному — песчаному гранулометрическому составу.

Профиль № 3 расположен на уровне второго профиля, но развит под менее сомкнутой растительностью с заметным участием полыни в его флористическом составе. Растительный покров

выбит, вероятно, чрезмерным выпасом скота. Морфологические признаки третьего профиля рассмотрены далее: АК<sub>т</sub> 0—2 см — серовато-коричневый, свежий, пороховато-пылеватый, рыхлый, обилие корней, переход ясный по цвету; АК 2—10 см — каштановый, непрочно-мелкокомковато-пылеватый, свежий, уплотнен, включения гравия, корней, переход заметный по обилию включений; ВРL<sub>1</sub> 10—20 см — палево-каштановый, сухой, свежий, непрочно-комковатый, рыхлый, редко включения крупного щебня, переход по плотности и включениям; ВРL<sub>2</sub> 10—28 см — палево-каштановый, непрочно-комковатый, сухой, менее уплотнен, обилие включений гальки возрастает к нижней границе, редкие включения корней, переход резкий по цвету и включениям; D<sub>f</sub> 28—60 см — окрашен неоднородно, серый с рыжеватыми пятнами, более выраженными к нижней границе, свежий, бесструктурный, осыпается, включения валунов; D<sub>ca, f</sub> 60—65 см — окрашен неоднородно, серовато-рыжий, свежий, бесструктурный, осыпается, включения валунов.

Профиль № 4 заложен в микрозападине, в условиях более обильного атмосферного увлажнения за счет поверхностного стока с прилегающих территорий, что нашло отражение в морфологических признаках данного профиля: АК<sub>т</sub> 0—5 см — серовато-каштановый, свежий, пороховато-мелкокомковатый, рыхлый, обилие корней, переход ясный по отделению дернины; АК 5—18 см — светло-каштановый, непрочно-комковато-пороховатый, свежий, уплотнен, включения корней, переход заметный по цвету; ВРL 18—36 см — палево-серый, комковато-пылеватый, сухой, менее уплотнен, редкие включения корней, переход постепенный по цвету; ВРL/С<sub>f</sub> 36—50 см — палево-серый с желтоватым оттенком, непрочно-комковатый, влажный, включения крупного песка, переход постепенный по цвету; С<sub>f</sub> 50—70 см —

окрашен неоднородно, серый с рыжеватыми пятнами, сырой, бесструктурный, включения гальки.

Профиль № 5 расположен на четвертом уровне террасы на участке Самахинской оросительной системы, функционирующей с 1988 г. [27]. Это заметным образом отразилось на морфологическом строении почвы: АК<sub>rz</sub> 0–6 см — темно-каштановый с серым оттенком, свежий, пороховатый, уплотнен, обилие корней, включения крупного песка на поверхности, переход ясный по отделению дернины; АК 6–11 см — каштановый, комковато-пороховатый, свежий, плотный, включения корней, переход заметный по цвету, граница языковатая; BPL 11–26 см — палевокаштановый, пылевато-комковатый, сухой, уплотнен, редкие включения корней, переход постепенный по цвету, новообразованиям, включениям; BSA 26–37 см — палево-светло-кашта-

новый, менее плотный, непрочно-комковатый, свежий, новообразования карбонатов в виде белоглазки, редкие включения мелкой гальки; BSA/C<sub>ic</sub> 37–55 см — окрашен неоднородно, желтовато-светло-серый, бесструктурный, увлажнен, включения выветрелых валунов и гальки, новообразования карбонатных кутов на нижних гранях включений, переход заметный по цвету; C<sub>ca, f</sub> 50–70 см — окрашен неоднородно, серый с мелкими рыжеватыми пятнами, влажный, бесструктурный, включения крупного песка.

Представленные почвы отличаются каштановой окраской различных оттенков гумусовых горизонтов, обусловленной дегидратацией окислов железа [28], непрочной комковатой или пороховатой структурой, увеличивающимся с глубиной обилием включений. Диагностическим признаком для криоаридных почв является наличие кар-

Таблица 2

Физико-химические свойства почв Самахинской степи

Горизонт, мощность, см	Гумус, %	CaCO <sub>3</sub> , %	pH, ед.	ЕКО, мг-экв/100 гр.	Физ. глина, %	Сумма солей, %
П 1						
AK <sub>rz</sub> 0-4	8,0 ± 0,4	—	6,7 ± 0,1	16,2 ± 3,2	15,70	0,048 ± 0,011
AK 4-17	4,0 ± 0,4	—	6,3 ± 0,1	8,1 ± 1,6	24,60	0,055 ± 0,013
BPL 17-28	3,0 ± 0,3	—	6,1 ± 0,1	4,1 ± 0,8	18,10	0,049 ± 0,011
BPL/C 28-36	2,2 ± 0,2	—	7,1 ± 0,1	3,0 ± 0,6	6,70	0,045 ± 0,011
C <sub>f</sub> 36-80	1,0 ± 0,1	—	7,2 ± 0,1	2,0 ± 0,4	5,40	0,050 ± 0,012
П 2						
AK <sub>tr</sub> 0-2	7,0 ± 0,4	—	6,1 ± 0,1	28,4 ± 5,7	16,50	—
AK 5-15	3,0 ± 0,3	—	6,3 ± 0,1	24,5 ± 4,9	26,80	0,039 ± 0,009
BPL 15-22	3,4 ± 0,3	—	6,9 ± 0,1	24,1 ± 4,8	26,20	0,062 ± 0,015
[AK <sub>dc</sub> ] 22-34	4,4 ± 0,4	8,2 ± 1,6	8,3 ± 0,1	10,2 ± 2,0	16,40	0,074 ± 0,018
[AK/C <sub>hi, ic</sub> ] 34-70	2,8 ± 0,3	3,6 ± 0,7	8,8 ± 0,1	2,5 ± 0,5	9,60	0,086 ± 0,021
[C <sub>ca, f</sub> ] >70	0,6 ± 0,3	1,9 ± 0,4	9,0 ± 0,1	3,7 ± 0,7	8,60	0,078 ± 0,019
П 3						
AK <sub>tr</sub> 0-2	5,6 ± 0,6	—	6,4 ± 0,1	29,2 ± 5,8	17,50	0,048 ± 0,012
AK 2-10	2,5 ± 0,3	—	6,5 ± 0,1	29,2 ± 5,8	28,40	0,041 ± 0,010
BPL <sub>1</sub> 10-20	2,0 ± 0,2	—	6,2 ± 0,1	19,0 ± 3,8	30,90	0,039 ± 0,009
BPL <sub>2</sub> 20-28	2,4 ± 0,3	—	6,3 ± 0,1	16,5 ± 3,3	19,90	0,041 ± 0,010
D <sub>f</sub> 28-60	0,7 ± 0,4	—	6,9 ± 0,1	3,7 ± 0,7	4,50	0,043 ± 0,010
D <sub>ca, f</sub> 60-65	0,6 ± 0,3	2,6 ± 0,5	8,2 ± 0,1	3,7 ± 0,7	4,40	0,045 ± 0,011
П 4						
AK <sub>rz</sub> 0-5	7,3 ± 0,4	—	5,7 ± 0,1	31,7 ± 6,3	19,00	0,055 ± 0,013
AK 5-18	3,7 ± 0,4	—	6,2 ± 0,1	21,6 ± 4,3	30,20	0,050 ± 0,012
BPL 18-36	1,4 ± 0,1	—	6,3 ± 0,1	11,4 ± 2,3	20,90	0,042 ± 0,010
BPL/C <sub>f</sub> 36-50	1,9 ± 0,2	—	6,4 ± 0,1	13,8 ± 2,8	24,80	0,037 ± 0,009
C <sub>f</sub> 50-70	0,3 ± 0,3	—	6,7 ± 0,1	3,6 ± 0,7	5,00	0,038 ± 0,009
П 5						
AK <sub>rz</sub> 0-6	5,2 ± 0,3	—	6,5 ± 0,1	40,2 ± 8,0	25,40	0,047 ± 0,011
AK 6-11	1,3 ± 0,1	—	6,7 ± 0,1	28,0 ± 0,4	16,80	0,049 ± 0,012
BPL 11-26	<0,1	—	7,0 ± 0,1	12,8 ± 2,5	23,60	0,036 ± 0,009
BSA 26-37	1,1 ± 0,1	3,5 ± 0,7	8,1 ± 0,1	19,9 ± 4,0	16,80	0,021 ± 0,005
BSA/C <sub>ic</sub> 37-55	1,1 ± 0,1	13,0 ± 2,6	8,6 ± 0,1	14,8 ± 3,0	17,70	0,126 ± 0,030
C <sub>ca, f</sub> >55	1,0 ± 0,1	5,4 ± 1,1	9,1 ± 0,1	8,7 ± 1,7	7,40	0,076 ± 0,018

«—» — не определяли.

бонатов в виде мучнистых выделений и кутан на поверхности щебня [29—31]. Но в представленных разрезах их наличие не всегда диагностируется, что отмечено и для криоаридных почв верховьев рек Колымы и Индигирки [28]. Условия влагообеспеченности участков микропонижений (особенно, профили № 1 и 4) Самахинской степи способствуют выщелачиванию карбонатов за пределы почвенного профиля. То же самое следовало бы ожидать на орошаемом участке, но здесь наличие карбонатов в виде кутан на нижней поверхности включений выражено очень отчетливо с глубины залегания аккумулятивно-карбонатного горизонта — 26 см. Отмечено их наиболее высокое содержание в горизонте, переходном к почвообразующей породе —  $13,0 \pm 2,6$  (табл. 2). Скорее всего, это связано с режимом орошения.

В профиле рассмотренных почв значения pH водного раствора увеличиваются с глубиной. И если для большинства из них характерна смена нейтральных условий на щелочные, то в разрезе № 4 выщелачивание протекало так интенсивно, что почвенный раствор поверхностного горизонта приобрел слабокислую реакцию среды, сменяющуюся вниз по профилю нейтральной.

Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте составляет 7—8 %. Заметно отличаются по этому показателю почвы, активно вовлеченные в сельскохозяйственный оборот. Как выпас скота (профиль № 3), так и отчуждение надземной биомассы в процессе заготовки кормов (профиль № 5) приводят к безвозвратной потере углерода. Причем в большей степени это проявляется в почвах орошаемых земель. Здесь отмечено особенно резкое снижение содержания гумуса вниз по профилю (табл. 2). Орошение заметно сказалось на распределении в профиле илистых фракций мелкозема, происходящему в профиле № 5 по элювиально-иллювиальному типу. Отмечено также некоторое оглинивание дернового горизонта, отразившееся на величине емкости катионного обмена. При этом гранулометрический состав криоаридных почв Самахинской степи супесчаный (табл. 2) с преобладанием фракций крупного и тонкого песка, что свидетельствует о том, что процессы дезинтеграции пород протекают преимущественно в результате их физического выветривания [32]. Криоаридные почвы Самахинской степи не засолены, сумма солей в основном варьирует от 0,039 до 0,055 % (табл. 2). В то же время отмечено их накопление в горизонтах погребенной почвы разреза № 2 и на границе с почвообразующей породой разреза № 5, где содержание солей увеличивается до 0,086 и 0,126 % соответственно. Тип солей, преимущественно, гидрокарбонатно-кальциевый.

В соответствии с классификацией почв России [12, 30] представленные профили отнесены нами к стволу постлитогенных, к отделу палео-метаморфических, типу криоаридных почв. Рядом авторов [1, 28] степные криоаридные почвы разделены на подтипы по содержанию гумуса. Учитывая роль процессов перераспределения, накопления, миграции и трансформации карбонатов в криоаридных почвах как профилеобразующих [25, 33], О. Ю. Гончаровой [29] предложено подтиповое разделение данных почв, основанное на соотношении гумусового и карбонатного профилей. Следуя этой логике, представленные криоаридные почвы можно отнести к выщелоченным (профили № 1, 2, 3, 4) и типичным (профиль № 5). В полевом определителе почв [12] палео-метаморфические почвы более детально разбиты на подтипы по наличию одного или нескольких генетических признаков в профиле. Руководствуясь этой классификацией, исследованные криоаридные почвы Самахинской степи могут быть отнесены к следующим подтипам: профили № 1 и 4 — к ожелезненным, профиль № 5 — к натечно-карбонатным. Профили № 2 и 3 следовало бы отнести к «переуплотненным» под влиянием выпаса скота. Но в исследованных почвах, развитых на песчаных отложениях, трансформация поверхностного горизонта диагностируется по разрушению непрочных структурных элементов без заметного уплотнения слоя. Таким образом, напрашивается подтиповое название «вытоптанное», не упоминающееся в классификации 2008 г. [12] и более широкое, чем «переуплотненные».

**Заключение.** Палео- и современные климатические условия, складывающиеся в межгорной Самахинской котловине на границе Центрального и Юго-Восточного Алтая, обусловили формирование здесь на песчано-галечниковых карбонатных отложениях специфических криоаридных почв. Исследованные почвы характеризуются высоким [34] содержанием гумусовых веществ в верхней части криогумусовых горизонтов, резко убывающим с глубиной, особенно на орошаемых участках. Почвы не засолены, отличаются, преимущественно, нейтральной реакцией почвенного раствора, сменяющейся щелочной в нижней части профиля.

На наш взгляд, учитывая ведущую роль процессов перераспределения, накопления, миграции и трансформации карбонатов в криоаридных почвах, их название на уровне подтипа должно быть определено наличием и глубиной залегания карбонатов, а все остальные признаки должны быть отражены на более низком таксономическом уровне.

## Библиографический список

1. Волковинцер В. И. Степные криоаридные почвы / автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Новосибирск, 1979. — 40 с.
2. Безбородова А. Н., Миллер Г. Ф. Изменение значений почвенно-экологического индекса межгорных степных котловин Горного Алтая в связи с нарастанием аридности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011. — Т. 13. — № 1 (5). — С. 1176—1179.
3. Безбородова А. Н., Миллер Г. Ф. Показатели условий формирования почвенного покрова межгорных степных котловин Горного Алтая // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2015. — Т. 17. — № 6. — С. 159—163.
4. Петров Б. Ф. Почвы Алтае-Саянской области. М.: Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева, 1952. — Т. 2. — 245 с.
5. Куминова А. В. Растительный покров Алтая. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. — 456 с.
6. Ковалев Р. В. Почвы Горно-Алтайской автономной области. — Новосибирск: Наука, 1973. — 352 с.
7. Самойлова Г. С. Ландшафтная карта Кош-Агачского района Республики Алтай. М 1:300 000 // Оценка местообитаний некоторых ключевых видов млекопитающих в Алтае-Хангае-Саянском регионе с помощью специализированной геоинформационной системы. М.: Российское представительство WWF, 2005.
8. Кудряшова С. Я., Дитц Л. Ю., Чумбаев А. С., Миллер Г. Ф., Безбородова А. Н. Дистанционные исследования земельных ресурсов экстроконтинентальных ландшафтов Горного Алтая // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2010. — Т. 3. — № 1. — С. 208—211.
9. Черных Д. В., Самойлова Г. С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край) Карта М — 1:500 000 // ФГУП Новосибирская картографическая фабрика, 2011.
10. Черных Д. В. Пространственно-временная организация внутриконтинентальных горных ландшафтов (на примере Русского Алтая) // дис. ... докт. геогр. наук. — Барнаул, 2012. — 360 с.
11. Розанов Б. Г. Морфология почв. — М.: Академический проект, 2004. — 432 с.
12. Полевой определитель почв. — М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. — 182 с.
13. Семендяева Н. В., Мармулев А. Н., Добротворская Н. И. Методы исследования почв и почвенного покрова. — Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. — 202 с.
14. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: МГУ, 1970. — 487 с.
15. Огуреева Г. Н. Ботаническая география Алтая. — М.: Наука, 1980. — 192 с.
16. Агатова А. Р., Непоп Р. К., Рудая Н. А., Хазина И. В., Жданова А. Н., Бронникова М. А., Успенская О. Н., Зазовская Э. П., Овчинников И. Ю., Панов В. С., Шурыгин Б. Н. Находка буроугольных верхнеолигоцен-нижнемiocеновых отложений (кошагачская свита) в долине р. Джазатор (Юго-Восток Русского Алтая): неотектонический и палеогеографический аспекты // Доклады академии наук, 2017. — Т. 475. — № 5. — С. 542—545.
17. Черных Д. В., Булатов В. И. Горные ландшафты: пространственная организация и экологическая специфика / ГПНТБ, ИВЭП СО РАН. — Новосибирск, 2002. — 83 с.
18. Севастьянов В. В. Климатические ресурсы Горного Алтая и их прикладное использование. — Томск: Изд-во ТГПУ, 2009. — 251 с.
19. Харламова Н. Ф. Климатические особенности плоскогорья Укок и прилегающих территорий // Известия Алтайского государственного университета, 2004. Вып. 3. — С. 71—77.
20. Макунина Н. И. Умеренно-холодная лесостепь Алтая // Turczaninowia, 2012. — № 15 (1). — С. 108—124.
21. Макунина Н. И. Растительность лесостепи Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области: классификация, структура и ботанико-географические закономерности // дис. ... докт. биол. наук. — Новосибирск, 2014. — 267 с.
22. Корольюк А. Ю. Настоящие степи на моренных отложениях в долине Джазатора (Горный Алтай) // Вестник НГУ. — Новосибирск, 2009. — Т. 7. — Вып. 4. — С. 29—34.
23. Самойлова Г. С. Типы ландшафтов гор Южной Сибири. — М.: Изд-во МГУ, 1973. — 55 с.
24. Самойлова Г. С. Экологическая специфика каскадных систем плоскогорья Укок // Ползуновский вестник, 2005. — № 4. — С. 72—75.
25. Конопляникова Ю. В., Бронникова М. А., Лебедева-Верба М. П., Шоркунов И. Г., Агатова А. Р. Кутаны криоаридных почв Юго-Восточного Алтая как диагностический признак и ключевой блок почвенной памяти: морфология, состав, генезис // Почвы холодных областей: генезис, география, экология. — Улан-Удэ, 2015. — С. 20—21.
26. Герасимова М. И., Лебедева И. И., Хитров Н. Б. Индексация почвенных горизонтов: состояние вопроса, проблемы и предложения // Почвоведение, 2013. — № 5. — С. 627—638.
27. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Министерство сельского хозяйства РФ. Департамент мелиорации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mcs-dm.ru/gts/>, 2017.
28. Быстряков Г. М., Кулинская Е. В. Почвы степных криоаридных ландшафтов верховьев Колымы и Индигирки // География и генезис почв Магаданской области. — Владивосток: Изд-во АН СССР, 1980. — С. 143—160.
29. Горчарова О. Ю. Криоаридные почвы Юго-Восточного Алтая / автор. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1997. — 24 с.
30. Классификация и диагностика почв России / [Л. Л. Шишов], В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. — Смоленск: Ойкумена, 2004. — 342 с.
31. Бронникова М. А., Конопляникова Ю. В., Агатова А. Р., Зазовская Э. П., Лебедева М. П., Турова И. В., Непоп Р. К., Шоркунов И. Г., Черкинский А. Е. Кутаны криоаридных почв и другие летописи ландшафтно-климатических изменений в котловине озера Ак-Холь (Тува) // Почвоведение, 2017. — № 2. — С. 158—175.
32. Спирина В. З., Раудина Т. В. Особенности почвообразования и пространственного распространения почв высокогорных склонов Юго-Восточного Алтая // Вестник ТГУ, 2015. — № 2 (30). — С. 6—19.

33. Хохлова О. С. Карбонатное состояние степных почв как индикатор и память их пространственно-временной изменчивости / автореф. дис. ... докт. геогр. наук. — М., 2008. — 50 с.
34. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Розанова М. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение, 2004. — № 8. — С. 918—926.

---

## THE ECOLOGY AND PROPERTIES OF THE SOILS IN THE SAMAKHA STEPPE OF THE SOUTH-EASTERN ALTAI

**S. N. Balykin**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, balykins@rambler.ru,  
**A. V. Puzanov**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Director, puzanov@iwep.ru,  
**T. A. Rozhdestvenskaya**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, rtamara@iwep.ru,  
**S. V. Baboshkina**, Ph. D. (Biology), Senior Researcher, svetlana@iwep.ru,  
**D. N. Balykin**, Ph. D. (Agriculture), Researcher, balykindn@yandex.ru,  
**I. V. Gorbachev**, Researcher, gorbachev@iwep.ru.

Institute of Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS), Barnaul, Russia

### References

1. Volkovintser V. I. Stepnye krioidnye pochvy [The steppe cryoarid soils]. *Thesis abstract for Ph. D. in Biology*. Novosibirsk. 1979. 40 p. [in Russian]
2. Bezborodova A. N., Miller G. F. Izmenenie znachenij pochvenno-ekologicheskogo indeksa mezhgornyh stepnyh kotlovin Gornogo Altaya v svyazi s narastaniem aridnosti [Changes in the values of the soil-ecological index of intermountain steppe basins in the Gorny Altai due to an increase in aridity]. *Journal Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011. Vol. 13. No. 1 (5). P. 1176—1179 [in Russian].
3. Bezborodova A. N., Miller G. F. Pokazateli uslovij formirovaniya pochvennogo pokrova mezhgornyh stepnyh kotlovin Gornogo Altaya [Indicators of the conditions for the formation of the soil cover of the intermountain steppe depressions of the Gorny Altai]. *Journal Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. Vol. 17. No. 6. P. 159—163 [in Russian].
4. Petrov B. F. Pochvy Altae-Sayanskoj oblasti [Soils of the Altai-Sayan region]. Moscow, Bulletin of V. V. Dokuchaev Soil Science Institute. 1952. Vol. 2. 245 p. [in Russian].
5. Kuminova A. V. Rastitel'nyj pokrov Altaya [The Altai vegetation cover]. Novosibirsk, SB AS USSR. 1960. 456 p. [in Russian].
6. Kovalev R. V. Soils of the Gorno-Altai Autonomous Region. Novosibirsk, Nauka. 1973. 352 p. [in Russian].
7. Samoylova G. S. Landscape map of the Kosh-Agach District of the Altai Republic. Scale 1: 300,000. *Assessment of the habitats of certain key mammalian species in the Altai-Khangai-Sayan Region using a specialized geographic information system*. Moscow, Russian representation of WWF. 2005 [in Russian].
8. Kudryashova S. Ya., Ditts L. Yu., Chumbaev A. S., Miller G. F., Bezborodova A. N. Distancionnye issledovaniya zemel'nyh resursov ehkstrakontinental'nyh landshaftov Gornogo Altaya [Remote studies of land resources of the extracontinental landscapes of the Gorny Altai]. *Interehkspo Geo-Sibir'*. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 208—211 [in Russian].
9. Chernykh D. V., Samoylova G. S. Landscapes of Altai (Republic of Altai and Altai Territory). Map. Scale 1:500,000. Novosibirsk, Novosibirsk Cartographic Factory. 2011. [in Russian].
10. Chernykh D. V. Spatio-temporal organization of intracontinental mountain landscapes (a study of the Russian Altai). *Thesis for the degree of Ph. D. in Geography*. Barnaul. 2012. 360 p. [in Russian].
11. Rozanov B. G. Morfologiya pochv [Soil morphology]. Moscow, Akademicheskij proekt. 2004. 432 p. [in Russian].
12. Polevoj opredelitel' pochv [Field determinant of soils]. Moscow, V. V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2008. 182 p. [in Russian].
13. Semendyaeva N. V., Marmulev A. N., Dobrotvorskaya N. I. Metody issledovaniya pochv i pochvennogo pokrova [Methods of study of soil and soil cover]. Novosibirsk, NSAU. 2011. 202 p. [in Russian].
14. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Soil chemical analysis guide]. Moscow, MSU. 1970. 487 p. [in Russian].
15. Ogureeva G. N. Botanicheskaya geografiya Altaya [Botanical geography of Altai]. Moscow, Nauka. 1980. 192 p. [in Russian].
16. Agatova A. R., Nepop R. K., Rudaya N. A., Hazina I. V., Zhdanova A. N., Bronnikova M. A., Uspenskaya O. N., Zazovskaya E. H. P., Ovchinnikov I. Yu., Panov V. S., Shurygin B. N. Nahodka burougol'nyh verhneoligocen-nizhnemioocenovyh otlozhenij (koshagachskaya svita) v doline r. Dzhazator (Yugo-Vostok Russkogo Altaya): neotektonicheskij i paleogeograficheskij aspekty [The finding of brown-coal Upper Oligocene-Lower Miocene sediments (the Koshagachsky site) in the valley of the Jazzator River (the south-east of the Russian Altai): neotectonic and paleogeographic aspects]. *Reports of the Academy of Sciences*. 2017. Vol. 475. No. 5. P. 542—545 [in Russian].
17. Chernykh D. V., Bulatov V. I. Gornye landshafy: prostranstvennaya organizaciya i ehkologicheskaya specifika [Mountain landscapes: spatial organization and environmental specifics]. *Ecology. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoj literatury*. 2002. No. 65. P. 3—83 [in Russian].
18. Sevast'yanov V. V. Klimaticheskie resursy Gornogo Altaya i ih prikladnoe ispol'zovanie [Climatic resources of the Gorny Altai and their applied use]. Tomsk, TSPU. 2009. 251 p. [in Russian].
19. Kharlamova N. F. Klimaticheskie osobennosti ploskogor'ya Ukok i prilgayushchih territorij [Climatic features of the Ukok Plateau and the adjacent territories]. *Journal Izvestiya of Altai State University*. 2004. Vol. 3. P. 71—77. [in Russian].

20. Makunina N. I. Umerenno-holodnaya lesostep' Altaya [Moderately cold forest steppe of the Altai]. *Journal Turczaninowia*. 2012. No. 15 (1). P. 108–124. [in Russian].
21. Makunina N. I. Rastitel'nost' lesostepi Zapadno-Sibirskoj ravniny i Altae-Sayanskoj gornoj oblasti: klassifikaciya, struktura i botaniko-geograficheskie zakonomernosti [Vegetation of the forest-steppe of the West Siberian Plain and the Altai-Sayan mountain region: classification, structure and botanical and geographical patterns]. *Tesis for the degree of Ph. D. in Biology*. Novosibirsk. 2014. 267 p. [in Russian].
22. Korolyuk A. Yu. Nastoyashchie stepi na morennyh otlozheniyah v doline Dzhazatora (Gornyj Altaj) [True steppes on moraine deposits in the valley of the Jazzator River (Gorny Altai)]. *Vestnik NSU*. 2009. Vol. 7. No. 4. P. 29–34 [in Russian].
23. Samoylova G. S. Tipy landshaftov gor YUzhnoj Sibiri [Types of landscapes of the mountains of South Siberia]. Moscow, MSU. 1973. 55 p. [in Russian].
24. Samoylova G. S. Ehkologicheskaya specifika kaskadnyh sistem ploskogor'ya Ukok. [Ecological specifics of cascade systems of the Ukok Plateau]. *Polzunovskij vestnik*. 2005. No. 4. P. 72–75 [in Russian].
25. Konoplyanikova Yu. V., Bronnikova M. A., Lebedeva-Verba M. P., Shorkunov I. G., Agatova A. R. Kutany krioaridnyh pochv Yugo-Vostochnogo Altaya kak diagnosticheskij priznak i klyuchevoj blok pochvennoj pamyati: morfologiya, sostav, genезis. [Kutans of cryoarid soils of the South-Eastern Altai as a diagnostic feature and a key block of soil memory: morphology, composition, genesis]. *Soils of cold areas: genesis, geography, ecology*. Ulan-Ude. 2015. P. 20–21. [in Russian].
26. Gerasimova M. I., Lebedeva I. I., Khitrov N. B. Indeksaciya pochvennyh gorizontov: sostoyanie voprosa, problemy i predlozheniya. [Indexation of soil horizons: state of the issue, problems and suggestions]. *Pochvovedenie*. 2013. No. 5. P. 627–638. [in Russian].
27. Reclamation systems and hydraulic structures. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Land Reclamation Department. Available at: <http://mcsx-dm.ru/gts/>. 2017.
28. Bystryakov G. M., Kulinskaya E. V. Pochvy stepnyh krioaridnyh landshaftov verhov'ev Kolymy i Indigirki [Soils of steppe cryoarid landscapes of the headwaters of the Kolyma and Indigirka]. *Geography and Genesis of Soils of the Magadan Region*. Vladivostok, AS USSR. 1980. P. 143–160. [in Russian].
29. Gorcharova O. Yu. Krioaridnye pochvy Yugo-Vostochnogo Altaya [Cryoarid soils of South-Eastern Altai]. *Thesis abstract for Ph. D. in Biology*. Moscow. 1997. 24 p. [in Russian].
30. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii [Classification system of Russian soils]. Smolensk, Ojkumena. 2004. 342 p. [in Russian].
31. Bronnikova M. A., Konoplyanikova Yu. V., Agatova A. R., Zazovskaya Eh. P., Lebedeva M. P., Turova I. V., Nepop R. K., Shorkunov I. G., Cherkinskij A. E. Kutany krioaridnyh pochv i drugie letopisi landshaftno-klimaticheskikh izmenenij v kotlovine ozera Ak-Hol' (Tuva) [Kutans of cryoarid soils and other chronicles of landscape-climatic changes in the basin of Lake Ak-Khol' (Tuva)]. *Pochvovedenie*. 2017. No. 2. P. 158–175 [in Russian].
32. Spirina V. Z., Raudina T. V. Osobennosti pochvoobrazovaniya i prostranstvennogo rasprostraneniya pochv vysokogornyh sklonov Yugo-Vostochnogo Altaya [Features of soil formation and spatial distribution of soils of the high-mountain slopes of the South-Eastern Altai]. *Vestnik TSU*. 2015. No. 2 (30). P. 6–19. [in Russian].
33. Khokhlova O. S. Karbonatnoe sostoyanie stepnyh pochv kak indikator i pamyat' ih prostranstvenno-vremennoj izmenchivosti [The carbonate state of steppe soils as an indicator and memory of their spatial-temporal variability]. *Thesis abstract for Ph. D. in Geography*. Moscow. 2008. 50 p. [in Russian].
34. Orlov D. S., Biryukova O. N., Rozanova M. S. Dopolnitel'nye pokazateli gumusnogo sostoyaniya pochv i ih geneticheskikh gorizontov [Additional indicators of soil humus status and their genetic horizons]. *Pochvovedenie*. 2004. No. 8. P. 918–926 [in Russian].

## МИКРОБНЫЕ ПЕЙЗАЖИ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ ДЕГРАДИРОВАННОГО ПАСТБИЩА

А. А. Данилова, доктор биологических наук,  
главный научный сотрудник,  
Сибирский федеральный центр  
агробиотехнологий РАН (СФНЦА РАН),  
Danilova7alb@yandex.ru,  
п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия

Изучены микробные пейзажи (МП) мерзлотных аласных почв при изоляции деградированного пастбища в течение 9 лет. Исследуемые аласы (термокарстовые котловины) расположены на пятой надпойменной террасе р. Лена в северной части Лено-Амгинского междуречья (62° 33' 24.3" с. ш. и 130° 54' 01.4" в. д.). На фоновом аласе Тобуруон травостой используется под сенокос, выпас животных ограничен. Травяной покров аласа Уолан нарушен вследствие перевыпаса (нагрузка 6 голов КРС/га при норме 0,5). Предметные стекла экспонировались в почве с июня 2017 по июнь 2018 г. Изоляция на остепненном поясе аласа сопровождалась обеднением МП преимущественно за счет снижения количества клосток бактерий, на луговом — количественным и качественным обогащением МП гифами грибов и образованием сообществ между грибами и бактериями. Отмеченные закономерности, вероятно, связаны с особенностями минерализации запасов навоза в изолированных участках. В остепненном поясе в условиях низкой влажности почвы, очевидно, произошла некоторая консервация навоза и в условиях жесткой конкуренции за источники питания между микроорганизмами и надземной растительностью произошла олиготрофизация микробного сообщества почвы. На луговом поясе при более благоприятной влажности запас навоза продолжает минерализоваться, создавая условия для высокой продуктивности заковой растительности, восстановившейся при изоляции. Соответственно, в условиях обогащения почвы свежим растительным опадом отмечается плотная микробная заселенность МП. Таким образом, метод стекол обрастания позволил получить новые знания по биодинамике мерзлотных почв при восстановлении деградированного пастбища.

Microbial landscapes of permafrost alas soils were studied after 9 years of pasture exclusion. The studied thermokarst hollows (alases) are located on the fifth above-flood terrace of the Lena River in the northern part of the Lena-Amginsky interfluvium (62° 33' 24.3" N and 130° 54' 01.4" E). On the background alas of Toburoun the grass cover is used for haymaking, while grazing is limited. The grass cover of the alas of Walan is disturbed due to overgrazing (load of 6 cattle/ha at a standard rate of 0.5). Slides were exhibited in the soil from June 2017 to June 2018. Pasture exclusion on the steppe alas belt was accompanied by the depletion of the microbial landscapes, mainly due to bacterial cells. Pasture exclusion on the meadow belt led to an increase in the number of fungi hyphae and the formation of communities between fungi and bacteria. The observed patterns are probably associated with the peculiarities of the manure stock mineralization in isolated areas.

On the steppe belt in conditions of low soil moisture, some manure conservation apparently occurred, and in the conditions of tough competition for nutrient sources between microorganisms and above-ground vegetation, microbial community in soil oligotrophized.

On the meadow belt, under the conditions of more favorable soil moisture, the manure stock continues to be mineralized, creating conditions for high productivity of grass vegetation, restored during isolation. While soil is enriched with fresh plant litter, dense microbial populations of microbial landscapes are observed. Thus, the method of microbial landscapes made it possible to obtain new knowledge on the biodynamics of permafrost soils.

**Ключевые слова:** мерзлотные почвы, деградированное пастбище, микробные пейзажи.

**Keywords:** pasture exclusion, permafrost alas soils, microbial landscapes.

**Введение.** Как известно, все разнообразие почвенных микроорганизмов функционирует в ассоциациях и сообществах. С самого зарождения почвенной микробиологии как науки исследователи искали способы наблюдения этих ассоциаций в условиях, близких к естественным. Методы стекол обрастания и капиллярных педоскопов в свое время позволили составить общее представление о разнообразии микробного населения почв *in situ*. А. В. Рыбалкина, Е. В. Кононенко [1], Т. В. Аристовская [2], О. М. Паринкина [3], адаптировавшие эти методы для применения в разных типах почв, рекомендовали сопровождать описание пейзажей с посевами на питательные среды для выделения представителей микробиоты, обнаруженных на пейзажах. Задача в целом не была решена, так как большинство микроорганизмов, обнаруженных на пейзажах, не культивировались на средах. Трудоемкость процедуры привела к тому, что этот метод стал применяться крайне редко.

На наш взгляд, при соответствующей постановке задач исследования данный подход может служить важным источником информации, прежде всего, при изучении антропогенной трансформации экосистем. В данном сообщении представлены результаты исследований, направленных на поиск возможных различий в микробных пейзажах почв, находящихся под антропогенным прессом, и спустя 9 лет после прекращения из этого воздействия.

**Объекты и методы.** Аласы представляют собой геоморфологические образования, характерные только для криолитозоны [4]. В термокарстовой котловине образуется специфическая экосистема, представляющая собой комплекс биомов, переходящих от озерного через болотный (нижний гидротермический пояс), луговой (средний пояс), остепненный (верхний) к типичному лесному.

Нами изучены два типичных зрелых котловинных провальнo-термокарстовых аласа, имеющих разную степень антропогенной нагрузки, расположенных на Тюнгилюнской террасе (пятая надпойменная терраса р. Лена) в северной части Лено-Амгинского междуречья. Географи-

ческие координаты сильно деградированного аласа Уолэн — 62° 33' 24.3" с. ш. и 130° 54' 01.4" в. д., фонового аласа Тобуруон — 62° 28' 29.7" с. ш. и 130° 56' 40.5" в. д. На фоновом аласе травостой используется под сенокос, выпас животных ограничен. Травяной покров аласа Уолэн нарушен вследствие перевыпаса. При рекомендованной норме нагрузки, равной 0,5 голов КРС/га, показатель на данном аласе достигает 6. Эта ситуация типична для большинства аласов Центральной Якутии, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов. Согласно классификации [5, 6] почвы нижнего пояса определены как мерзлотные дерново-глеевые, среднего — мерзлотные луговые, верхнего — мерзлотные остепненные. Почвы аласа Уолэн дополнительно охарактеризованы как антропогенно преобразованные. Все изученные почвы засолены (содово-хлоридный тип), рН (водная) колеблется в пределах 8—9,5. Более подробно объекты исследования и результаты почвенно-микробиологических исследований описаны ранее [7].

Предметные стекла экспонировали в почве верхнего и среднего поясов аласов с июня 2017 по июнь 2018 г. Изучали микробные пейзажи почв остепненного и лугового поясов аласов по 3 вариантам: фоновый алас; деградированный алас — открытое пастбище; деградированный алас — участки, изолированные от выпаса в 2009 г.

Микробные отпечатки на предметных стеклах после фиксации окрашивали 5 %-ным карболовым эритрозином при экспозиции стекол 12 часов. На каждом стекле просматривали не менее 50 полей зрения. Снимки сделали при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой Axiocam 105 color при увеличении  $\times 1000$  с масляной иммерсией.

**Результаты и обсуждение.** На фоновом аласе в мерзлотной аласной остепненной почве под остепненным лугом преобладали грибы на стадии активного спорообразования. В условиях недостатка влаги гифы грибов были тонкие, проективное покрытие полей зрения было низкое (не более 10 %). Отмечалось специфическое взаиморасположение разных видов грибов. В частности, тонкие гифы представителя рода *Verticillium* активно размножались на более толстых гифах другого гриба, т. е. в условиях жесткого лимитирования основных экологических факторов (тепла и влаги) наблюдались специфические взаимоотношения между представителями сообщества. На рисунке (А) показана ловчая гифа гриба-хищника. Отметим, что отмеченный выше гриб *Verticillium* известен как хищник. Бактериальная заселенность стекла была невысокая, единичные клетки встречались на поверхности живых гиф.

В дерново-глеевой почве лугового пояса фонового аласа поверхность стекла была преимущественно занята однотипными по морфологии разрастаниями клеток бактерий (рис. Б.).

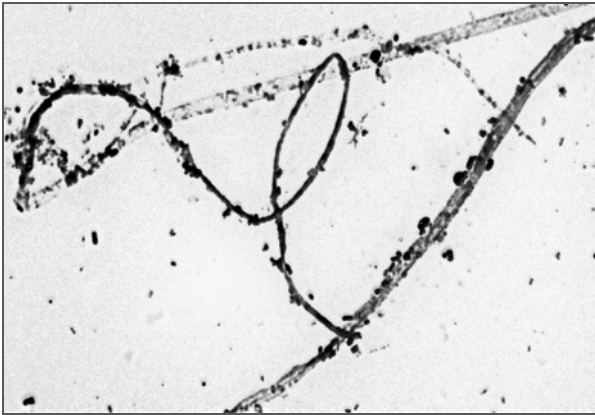
Таким образом, на фоновом аласе микробный пейзаж почв верхнего и среднего поясов оценивался как слабозаселенный, в почве остепненного пояса преобладали гифы грибов, лугового — бактерии.

Для оценки роли изоляции в изменении микробного сообщества почвы пейзажи, полученные на фоновом аласе, сравнили с таковыми почв открытого деградированного пастбища и изолированного участка на нарушенном аласе.

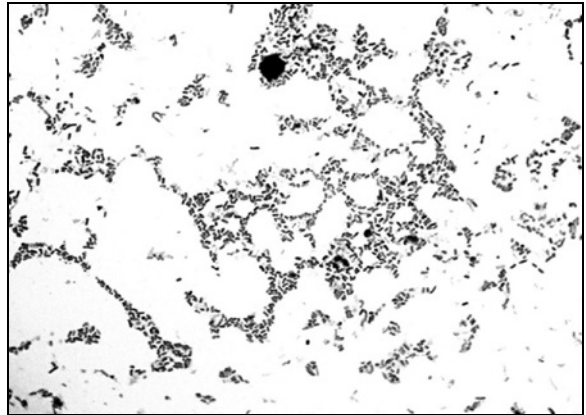
На остепненном поясе изоляция деградированного пастбища сопровождалась обеднением микробного пейзажа почвы в сравнении с почвой открытого пастбища (рис. Г, Д). При этом отметили тенденцию к бактериальному заселению гиф, чего не было отмечено в почве открытого пастбища. В дерново-глеевой почве лугового пояса деградированного аласа отметили обратную закономерность. Микробный пейзаж почвы изолированного участка был достаточно разнообразным и плотно заселенным. Покрытие полей зрения гифами грибов составляло не менее 50 % (рис. Е, С). Грибы находились в стадии активного образования спор.

Бактериальное заселение поверхности гиф было сравнительно высоким. Следовательно, изоляция на остепненном поясе сопровождалась обеднением микробного пейзажа почв, прежде всего, за счет бактериальной составляющей, на луговом — количественным и качественным обогащением пейзажа гифами грибов и образованием сообществ между грибами и бактериями. Отмеченные закономерности, вероятно, связаны с особенностями минерализации запасов навоза в изолированных участках. В остепненном поясе в условиях постоянной низкой влажности почвы, очевидно, произошла некоторая консервация навоза, и в условиях жесткой конкуренции за источники питания между микроорганизмами и наземной растительностью, биомасса которой существенно возросла при изоляции, произошла олиготрофизация микробного сообщества почвы, что и отразилось на пейзаже. Еще один важный момент — часто на пейзаже отмечали тяготение бактерий к поверхности грибных гиф. Это явление, как нами было установлено ранее [8], характерно для целинных почв, достигших равновесия между основными компонентами общества.

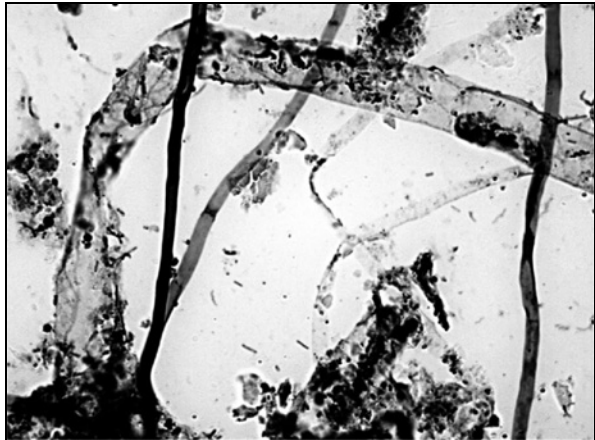
На луговом поясе, в условиях более благоприятной влажности накопленный за годы экс-



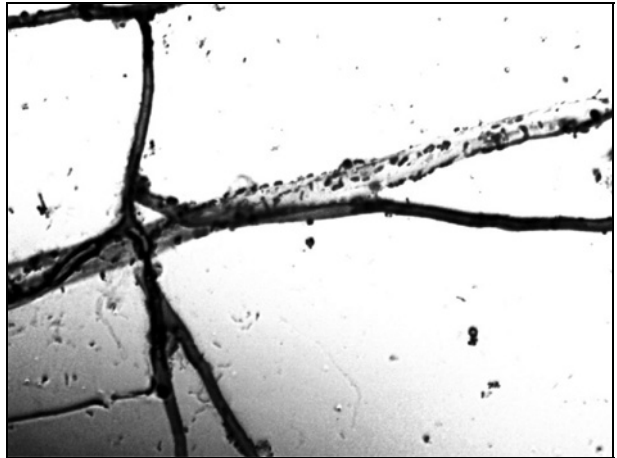
А. Остепненный пояс, фоновый алас



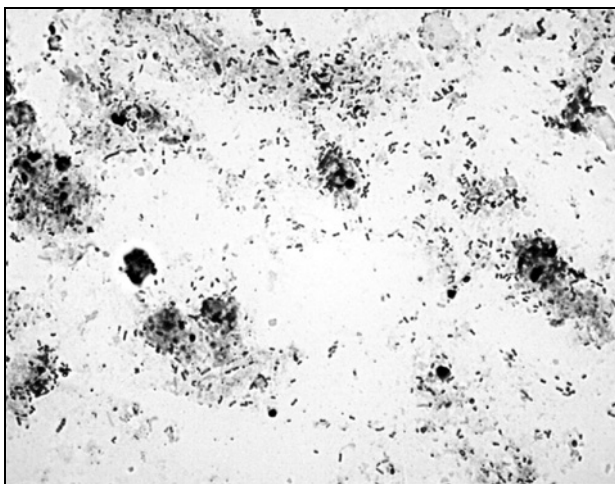
Б. Луговой пояс, фоновый алас



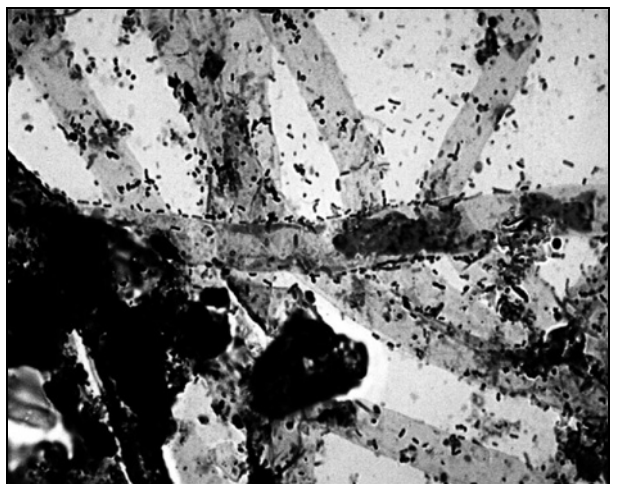
Г. Остепненный пояс, пастбище



Д. Остепненный пояс, изоляция



Е. Луговой пояс, пастбище



С. Луговой пояс, изоляция

*Рис. Микробные пейзажи аласных почв Лено-Амгинского междуречья*

плуатации пастбища запас навоза продолжает минерализоваться, создавая условия для высокой продуктивности злаковой растительности, восстановившейся при изоляции. Соответственно, в условиях обогащения почвы свежим растительным опадом отмечается плотная заселенность полей зрения.

**Заключение.** В результате проведенных исследований можно сделать заключение, что при помощи стекол обрастания можно наблюдать изменение микробного сообщества почвы при изоляции деградированного пастбища. Все отмеченные закономерности можно логично объяснить с точки зрения динамики органического вещества.

## Библиографический список

1. Рыбалкина А. В., Кононенко Е. В. Активная микрофлора почв // Микрофлора почв Европейской части СССР. — М.: Изд-во АН СССР. — 1957. — С. 250—260.
2. Аристовская Т. В. Микробиология подзолистых почв. — М.—Л.: Наука, 1965. — 190 с.
3. Паринкина О. М. Микрофлора тундровых почв. — Л.: Наука, 1989. — 160 с.
4. Аласные экосистемы. — Новосибирск: Наука, 2005. — 263 с.
5. Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. — 172 с.
6. Десяткин Р. В. Почвообразование в термокарстовых котловинах-аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. — 323 с.
7. Danilova A. A., Savvinov G. N., Gavril'eva L. D., Danilov P. P., Ksenofontova M. I., Petrov A. A. Shot-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community // *Arid Ecosystems*. — 2017. — Т. 7. — № 3. — С. 184—190.
8. Данилова А. А., Напрасникова Е. В. Микробные пейзажи как показатели состояния почв // Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10—14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А. И. Сысо. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. — Ч. I. С. 215—218.

---

## MICROBIAL LANDSCAPES OF PERMAFROST SOILS IN DEGRADED PASTURE EXCLUSION

**A. A. Danilova**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, E-mail: Danilova7alb@yandex.ru, Novosibirsk oblast, Krasnoobsk, Russia

### References

1. Rybalkina A. V., Kononenko E. V. Aktivnaya mikroflora pochv. Mikroflora pochv Evropejskoj chasti SSSR [Active soil microflora. *Soil microflora of the European part of the USSR*]. Moscow, Izd-vo AN SSSR. 1957. P. 250—260. [in Russian]
2. Aristovskaya T. V. Mikrobiologiya podzolistyh pochv [*Microbiology of podzolic soils*]. Moscow—Leningrad, Nauka, 1965. 190 p. [in Russian]
3. Parinkina O. M. Mikroflora tundrovyh pochv [*Microbiology of tundra soils*]. Leningrad, Nauka, 1989. 160 p. [in Russian]
4. Alasnye ekosistemy [Alas ecosystems]. Novosibirsk, Nauka, 2005. 263 p. [in Russian]
5. Elovskaya L. G. *Klssifikatsiya i diagnostika merzlotnykh pochv Yakutii* [Classification and Diagnostics of Frozen Soils of Yakutia]. Yakutsk, Yakut. Fed., Sib. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1987. 172 p. [in Russian]
6. Desyatkin R. V. *Pochvoobrazovanie v termokarstovykh kotlovinakh alasakh kriolitozony* [Soil Formation in Thermokarst Depressions Alases of Cryolites]. Novosibirsk, Nauka, 2008. 323 p. [in Russian]
7. Danilova A. A., Savvinov G. N., Gavril'eva L. D., Danilov P. P., Ksenofontova M. I., Petrov A. A. Shot-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community. *Arid Ecosystems*. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 184—190.
8. Danilova A. A., Naprasnikova E. V. Mikrobnye pejzazhi kak pokazateli sostoyaniya pochv [Microbial landscapes as indicators of soil conditions]. *Pochvy v biosfere: sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii posvyashennoj 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrohimii SO RAN. 10—14 sentyabrya 2018 g.* [*Soils in the biosphere*] a collection of materials of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS. September 10—14, 2018, Novosibirsk]. Tomsk, Izdatelskij Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2018. Part I. P. 215—218. [in Russian]

## СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА «А» И ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ОЗЕРАХ ВАЛДАЙСКОЕ И УЖИН

**Д. В. Васин**, к. г. н., доцент Московского государственного областного университета, *dv.vasin@mgou.ru*, г. Мытищи, Россия,

**Ю. М. Гришаева**, д. п. н., профессор Московского государственного областного университета, *um.grishaeva@mgou.ru*, г. Мытищи, Россия,

**З. Н. Ткачева**, к. п. н., доцент Московского государственного областного университета, *zn.tkacheva@mgou.ru*, г. Мытищи, Россия,

**Н. А. Мартыанова**, бакалавр 2 курса географо-экологического факультета Московского государственного областного университета, *natasha\_martyanova@mail.ru*, г. Мытищи, Россия

В данной статье описаны исследования, которые проводились на территории Новгородской области в озерах Валдайское и Ужин. Дается оценка характерных особенностей озер данного региона. Подробно описана программа исследований на озерах Валдайское и Ужин, а также дана характеристика исследуемых объектов. Проведен анализ концентраций хлорофилла «а», прозрачности воды на рейдовых вертикалях озер Валдайское и Ужин и в истоке р. Валдайки, а также температурные показатели воды на трех вертикалях. Цель статьи — раскрыть особенности вертикального распределения температуры воды, прозрачности, а также содержание хлорофилла «а» в озерах Валдайское и Ужин. Методы исследования: методология выполнения исследований и разработок включает работу с гидрологическими приборами: батометр, электротермометр, рН-метр, белый диск для измерения прозрачности, анализ данных, полученных при исследовании, анализ опыта сотрудников Валдайского филиала ГИИ в области гидрологии. При анализе состояния исследуемой проблемы использованы современные научные публикации российских и зарубежных ученых. Результаты исследования: рассмотрены особенности вертикального хода температуры воды, прозрачности в озерах Валдайское и Ужин. Указаны основные гидрологические закономерности для данных озер. Приведены данные по распределению хлорофилла «а». Выводы работы: установлены особенности вертикального изменения температуры воды в озерах Валдайское и Ужин.

The article includes the research that was conducted in the territory of the Novgorod Region in the lakes of Valdai and Uzhin. The assessment of the characteristic features of the lakes of this region is given. The research program on the lakes of Valdai and Uzhin, as well as the characteristics of the water bodies under study are described. The analysis of chlorophyll "a" concentrations, water transparency on the raid verticals of the lakes of Valdai and Uzhin and in the source of the Valdai river as well as temperature indicators of water on three verticals are presented. The purpose of the article is to reveal the features of the vertical distribution of water temperature, transparency, as well as the content of chlorophyll "a" in Valdai and Uzhin lakes.

**The research methods.** The research and development methodology includes the work with hydrological instruments: a bathometer, an electrothermometer, a pH meter, a white disk for measuring transparency, data analysis from the research, the experience of the Valdai Branch of the Institute of Hydrology in the field of hydrology. In analyzing the state of the problem being investigated, modern scientific publications of Russian and foreign scientists were used.

**The results of the research.** The features of the vertical course of water temperature, transparency in the lakes of Valdai and Uzhin are considered. The main hydrological patterns for these lakes are indicated. The data on the distribution of chlorophyll "a" are given.

**Conclusions of the work.** The features of the vertical change in water temperature in the lakes of Valdai and Uzhin were established.

**Ключевые слова:** Рейдовая вертикаль, озеро, батометр, эвтрофикация, гидрология, температура воды, прозрачность, термоклин, хлорофилл «а».

**Keywords:** Raid vertical, lake, water bottle, eutrophication, hydrology, water temperature, transparency, thermocline, chlorophyll "a".

**Введение.** Совершенствование мониторинга состояния вод и водных объектов в настоящее время имеет большое значение для геоэкологических исследований, так как значительная часть водных объектов России, согласно информации государственного мониторинга поверхностных вод суши, находится в неудовлетворительном состоянии [1]. В связи с этим необходимо обратить повышенное внимание на организацию гидрологических исследований, позволяющих проследить генезис природных вод [3].

Исследования были проведены в Новгородской области, территория которой характеризуется большим количеством озер (76) различной величины и формы, на озерах Валдайское и Ужин. Озера данного региона в основном ледникового происхождения с возвышенными берегами, изрезанной береговой линией, неровным рельефом дна, с ямами и островами. Ледниковое происхождение озер определяет их сложную морфометрическую форму [7]. Во время отступления ледника на границе ошашковского оледенения и голоцена сформировался холмисто-западинный рельеф, который обуславливает характерные особенности Валдайского района озер [9].

У некоторых озер ярко выражен процесс современного заболачивания. Встречаются озера с унаследованными котловинами (Валдайское озеро). Глубина озер не зависит от их размера. Донные грунты озер разнообразны: каменистые, песчаные, чистые или с примесью ила, галечниковые с примесью песка, некоторые с сап-

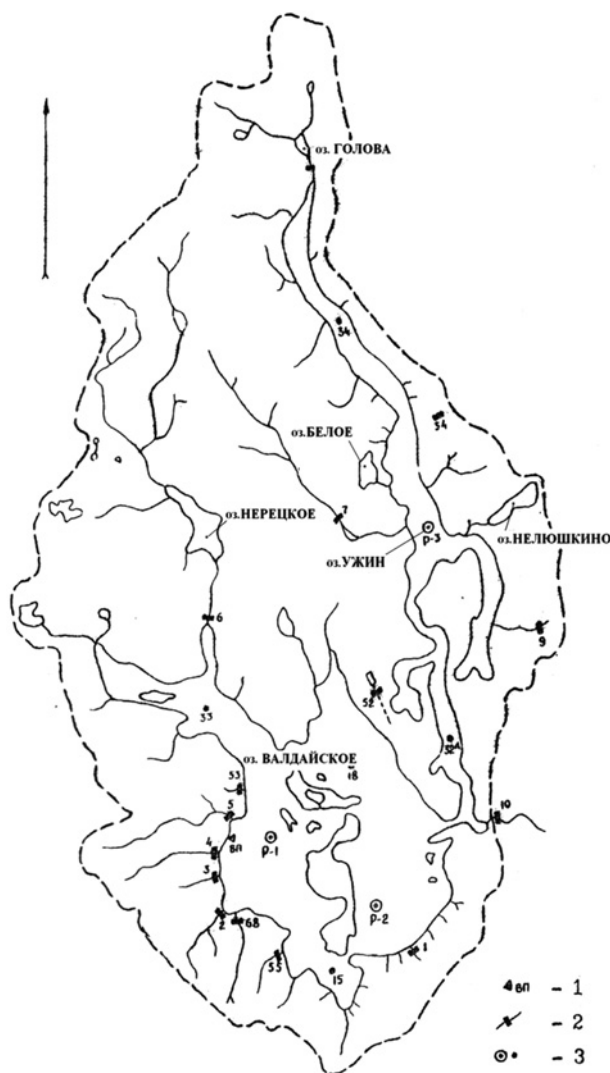


Рис. 1. Структура водосбора озер Валдайское и Ужин [1].  
1 — водпост, 2 — гидростворы, 3 — вертикали

ропелем. Для озер Валдайской возвышенности характерно повышенное содержание органических веществ [8].

Программа исследований 2018 г. на озерах Валдайское и Ужин включила в себя следующие виды работ и наблюдений: за температурой воды по родниковому термометру, за распределением температуры воды по глубине на рейдовых вертикалях Р-1, Р-2, Р-3 по рН-метру (WTW, Multi 197i, ДАТЧИК SensoLyt®SEA № 109115) — один раз в декаду в период открытой воды; за прозрачностью воды по белому диску на рейдовых вертикалях Р-1, Р-2, Р-3 — один раз в декаду в период открытой воды (рис. 1).

Валдайское озеро расположено на Валдайской возвышенности, на территории Валдайского национального парка в Валдайском районе Новгородской области. Площадь озера без островов составляет 19,7 км<sup>2</sup>; средняя глубина — 12 м

(максимальная — 62 м). Своеобразным ресурсом территории можно считать собственно береговые полосы. Исторически на территории сложилась околородная структура расселения, подавляющая часть населенных пунктов располагается у системы озер [10]. Валдайское озеро покрыто льдом с начала декабря по начало мая. В средней части расположен остров Рябиновый, делящий озеро на два плеса. Валдайское озеро соединено с озером Ужин каналом «Копка». Канал был построен на средства Иверского монастыря в 1862 г. на месте речки Федосеевки, длина которой составляла около 150 м. Валдай — живописное озеро ледникового происхождения. Знаменито плесами и песчаными пляжами. Три крупных острова: Березовый, Рябиновый, Паточный. На западном берегу озера расположен город Валдай.

Озеро Ужин (8,8 км<sup>2</sup>) — название озера происходит от слова «узкий» — оно имеет узкую вытянутую форму и с высоты птичьего полета напоминает больше реку, чем озеро — длиной порядка 16 км, при средней ширине 800 м (иногда озеро сужается до 65 м), озеро соединено с озером Валдайским искусственным каналом «копка», которая была прорыта на средства монастыря в 1862 году на месте речки Федосеевки для того, чтобы ускорить сток воды из озера в реку Валдайку, которая несла воды озера для наполнения судоходной реки Мсты, по которой весной проходили торговые барки.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводилось 31.05.2018 и 09.06.2018 на озере Валдай и озере Ужин, а также в работе были использованы данные сотрудников Валдайского филиала ГГИ. Началось исследование с приезда на гидрологический исследовательский объект, филиал ГГИ, который находился близ озера Ужин, а конкретно на месте впадения реки Валдайка в данный водный объект. На нем располагалось сооружение в виде небольшого разграничителя, позади которого стояли устройства с самописцами, предназначенные для непосредственного измерения скорости течения, объема стока, проходящего из озер Валдай и Ужин, соединенными искусственным каналом «Копка». После посещения объекта наша группа вместе с сотрудниками ГГИ выдвинулась на небольшом катере в озера, для взятия необходимых проб и замеров. Маршрут был составлен на основании 3 самых глубоких точек (рейдов вертикалей) озер Валдай (2 т.) и Ужин (1 т.), глубина которых колеблется от 40 до 60 м (табл. 1).

Расположение данных точек отбора проб наиболее целесообразно и обосновано представлением о гидрологическом и биологическом состоя-

**Местоположение пунктов наблюдений на акватории озер Валдайское и Ужин  
в 2018 г. [2]**

Название	Номер	Координаты		Расстояние от метеостанции, км
		Широта	Долгота	
1	2	3	4	5
Водомерный пост Валдай. ВФ ФГБУ «ГГИ»				
Метеостанция «Валдай»	М/С	57°59'20.7	33°15'13".9	0,0
Водомерн. пост № 1 ВФ ГГИ	ВП-1	57°59'13.4	33°15'30".2	0,35
Гидроствор в истоке р. Валдайки	ТС	57°59'24".3	33°21'21".6	6,03
Рейдовая-1. Западный плес	P-1	57°59'15".3	33°16'37".8	1,34
Рейдовая-2. Восточный плес	P-2	57°58'44".9	33°18'58".5	3,90
Рейдовая-3. оз. Ужин	P-3	58°02'30".0	33°20'20".0	8,05
Точки ледового профиля на Западном плесе	т. P-1.1			0,40
	т. P-1.2			1,40
МРЛ-5	МРЛ	57°57'12".9	33°16'38".2	4,4

нии озер. Пробы и замеры берутся раз в 10 дней, при этом использовались такие приборы, как батометр, глубинный термометр, родниковый термометр и рН-метр.

Так как измерения проводились на разных глубинах, все приборы были привязаны на прочных веревках, разделенные маленькими порциями скотча, по которым можно было понять длину погружения. Отметки были сделаны через 1 м. Также к батометру прилагался поплавоч, закрепленный на веревке, с помощью которого, путем резкого опускания к батометру, определялась необходимая глубина для проб. Температура воды по глубине на трех рейдовых вертикалях для стан-

дартных горизонтов приведена в табл. 1, 2, 3 для рейдовых вертикалей P1, P2 и P3 соответственно. Измерение ведется до 15 м через 1 метр, далее — через 5 м и у дна.

Также были взяты пробы на хлорофилл «а». Взятые пробы переливались в закрывающиеся цилиндры. С помощью батометра определяются все свойства воды, протекающие на определенной глубинной градации водного объекта, вместе с тем попавший в емкость батометра фитопланктон берется на исследования в лабораторию. Характеристикой развития фитопланктона в водоеме является принятая в мировой практике мониторинга концентрация хлорофилла «а».

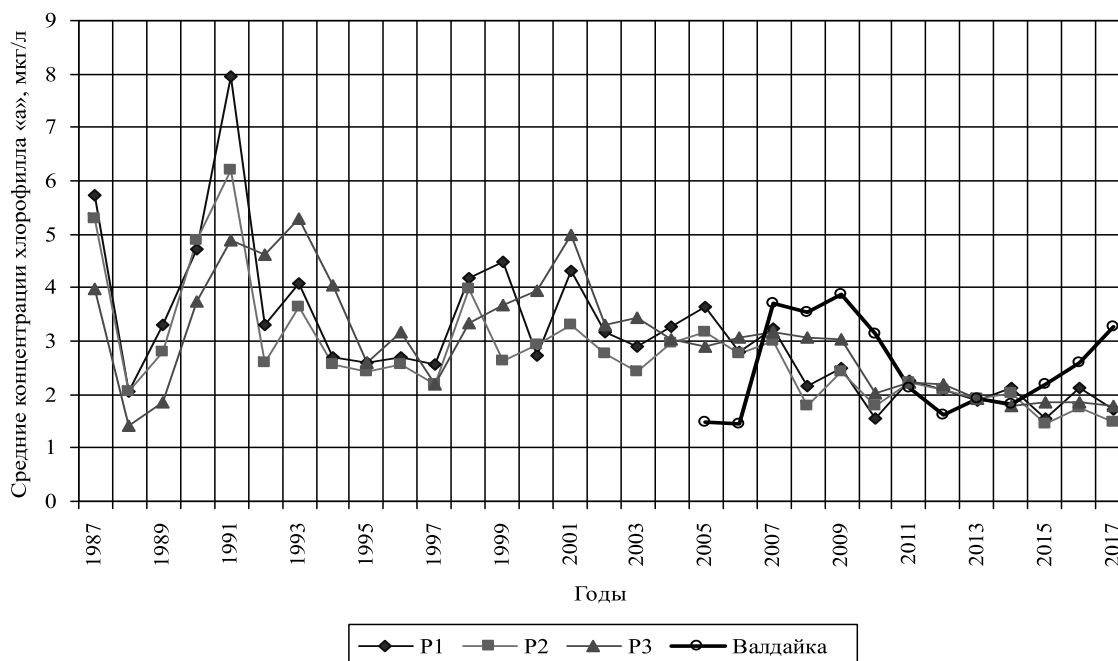


Рис. 2. Сравнительный график средних за период открытой воды концентраций хлорофилла «а» на трех рейдовых вертикалях озер Валдайское и Ужин в 1987–2017 гг. и реки Валдайки в 2005–2017 гг., мкг/л [2]

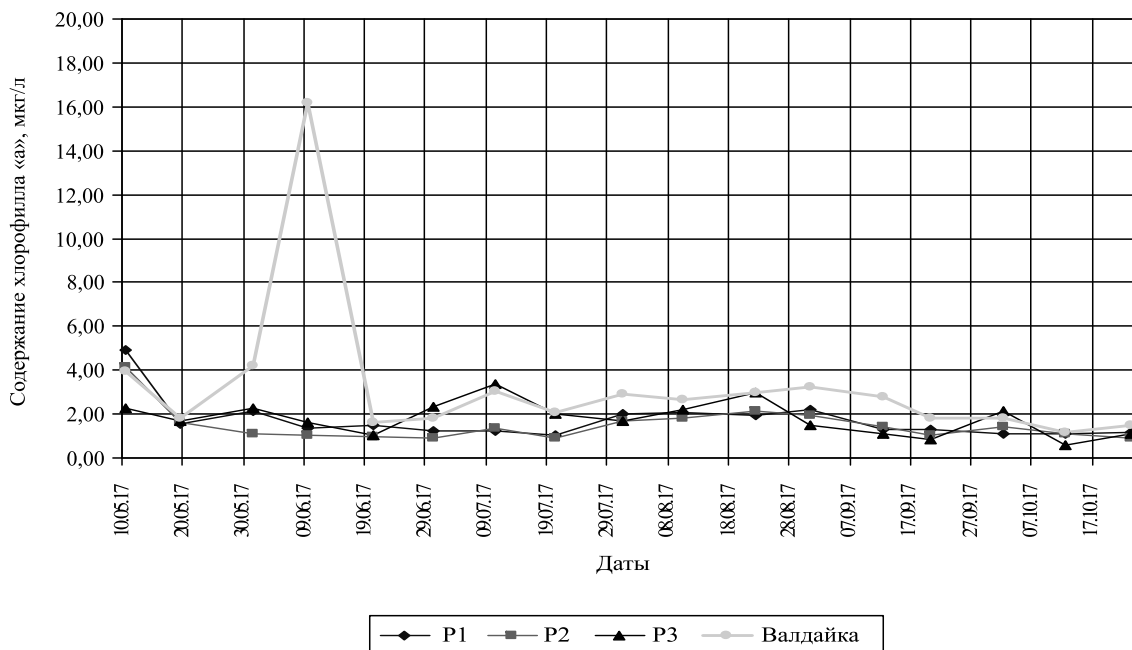


Рис. 3. График распределения концентраций хлорофилла «а» внутри сезона 2017 г. на трех рейдовых вертикалях и в истоке реки Валдайки [2]

**Результаты исследований на озерах Валдай и Ужин.** На рис. 2 представлены графики средних содержаний концентраций хлорофилла «а», за период открытой воды, на трех рейдовых вертикалях и в истоке реки Валдайки. Средние величины для первого, второго, третьего плесов и реки Валдайки составляют соответственно — 1,72; 1,49; 1,80 и 3,27 мкг/л — отражены в табл. 2. В период 2007—2017 гг. средняя за сезон концентрация для истока реки Валдайки в 9 раз превышала средние по рейдовым вертикалям. Это говорит о неизвестном источнике биогенов, которые пос-

тупают в озеро Ужин, вероятно в его южной части, так как на рейдовых вертикалях в эти сроки мы не отмечаем высоких значений [2]. Также необходимо отметить, что высокие концентрации биогенов в реке Валдайке в дальнейшем могут привести к увеличению концентрации данного вещества и во всей системе Валдайских озер. Анализ графика рис. 2 показывает тенденцию на уменьшение концентрации хлорофилла «а», что свидетельствует о хорошем экологическом состоянии озер и относительной чистоте их вод.

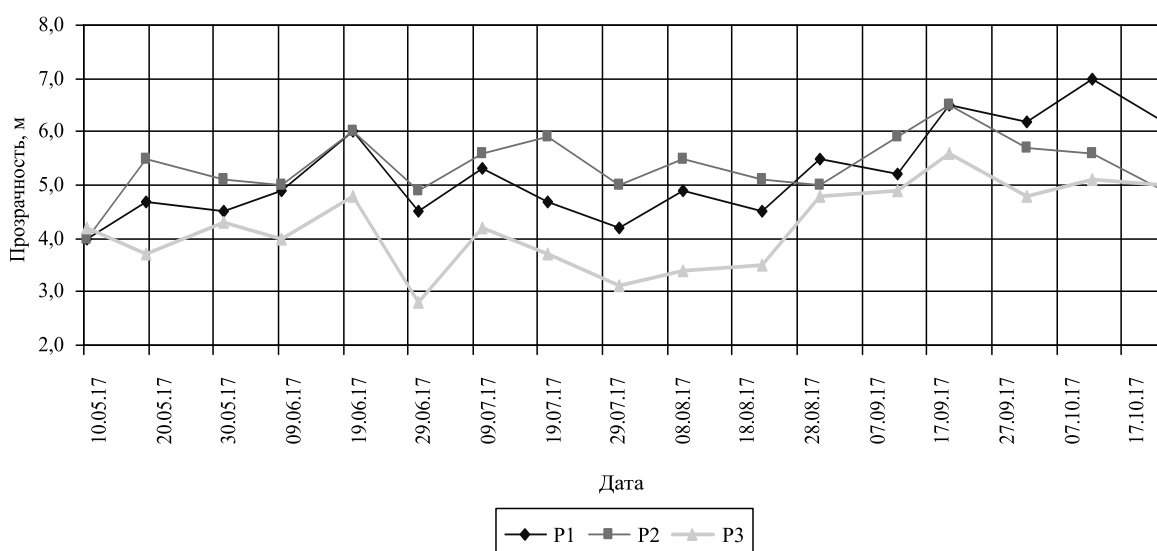


Рис. 4. График хода прозрачностей воды на рейдовых вертикалях озер Валдайское и Ужин за сезон 2017 г., м [2]

Таблица 2

Содержание хлорофилла «а» (мкг/л) и прозрачность воды (м) на рейдовых вертикалях озер Валдайское и Ужин и в истоке реки Валдайки в 2017 г.

Дата	P1		P2		P3		Валдайка
	Хл. «а», мкг/л	Прозрачность, м	Хл. «а», мкг/л	Прозрачность, м	Хл. «а», мкг/л	Прозрачность, м	
10.05.17	4,92	4,0	4,14	4,0	2,24	4,2	3,97
19.05.17	1,58	4,7	1,59	5,5	1,69	3,7	1,79
31.05.17	2,14	4,5	1,08	5,1	2,27	4,3	4,22
09.06.17	1,34	4,9	1,05	5,0	1,62	4,0	16,19
20.06.17	1,52	6,0	0,95	6,0	1,02	4,8	1,65
30.06.17	1,23	4,5	0,90	4,9	2,34	2,8	1,80
10.07.17	1,24	5,3	1,35	5,6	3,35	4,2	3,02
20.07.17	1,02	4,7	0,92	5,9	2,01	3,7	2,07
31.07.17	2,01	4,2	1,70	5,0	1,71	3,1	2,94
10.08.17	2,07	4,9	1,84	5,5	2,22	3,4	2,66
22.08.17	1,96	4,5	2,11	5,1	2,96	3,5	2,98
31.08.17	2,17	5,5	1,94	5,0	1,49	4,8	3,22
12.09.17	1,31	5,2	1,41	5,9	1,08	4,9	2,79
20.09.17	1,29	6,5	1,02	6,5	0,81	5,6	1,79
02.10.17	1,07	6,2	1,42	5,7	2,13	4,8	1,81
12.10.17	1,11	7,0	1,07	5,6	0,60	5,1	1,14
23.10.17	1,18	6,2	0,90	4,9	1,10	5,0	1,46
Среднее	1,72	5,2	1,49	5,4	1,80	4,2	3,27
Максим.	4,92	7,0	4,14	6,5	3,35	5,6	16,19
Миним.	1,02	4,0	0,90	4,0	0,60	2,8	1,14

Таблица 3

Показатели температуры воды на разных глубинах в озерах Валдайское и Ужин

Рабочая глубина, м	Температура воды, °С (дата, время, вертикаль)					
	озеро Валдайское				озеро Ужин	
	31.05.2018		09.06.2018		09.06.2018	
	10:30, р. 1	11:20, р. 2	12:07, р. 1	11:25, р. 2	12:10, р. 3	09:20, р. 3
Родн.	14,2	14,4			14,7	
0,1	14,3	14,3	13,8	15,2	14,7	15,0
1	14,2	14,2	13,8	15,2	14,6	15,0
2	14,2	14,1	13,8	15,2	14,6	14,8
3	14,1	13	13,8	15,2	14,5	14,6
4	14,6	13	13,8	15,2	14,3	14,2
5	13	12,5	13,5	15,2	12	13,2
6	12,6	12	12,0	14,0	11,8	10,8
7	10,7	11,5	11,6	13,2	10	9,2
8	10,2	9,5	10,3	11,8	9	7,3
9	9,7	9	9,0	9,3	8,5	7,0
10	9,5	8,5	7,5	7,0	8,3	5,6
11	8,9	7,9	6,2	6,9	7,8	5,2
12	8,6	7,4	6,0	6,6	6	5,0
13	8,3	5	5,8	6,5	6,1	4,9
14	8,2	5	5,7	6,4	6,1	4,7
15	8,1	4,9	5,6	6,4	5,9	4,6
20	7,0	4,8	5,3	6,0	5,7	4,6
25	7,9	4,6	5,2	6,0	5,6	4,3
30	7,8	4,6	5,2	5,2	5,6	4,2
35	7,7	4,5	5,2	5,2	5,6	4,1
Дно (дно, ил)	7,5	4,4	5,2	5,2	5,5	4,1
Прозрачность, м	4,3	5,1	4,4	5,5	4,5	2,7

После схода льда, в период весенней гомотермии значения концентраций были 4,92 мкг/л для первого плеса; 4,14 мкг/л для второго; 2,24 мкг/л для третьего плеса, соответственно. Максимальная величина за весь сезон для реки Валдайки отмечена 09.06.2017 — 16,19 мкг/л. Распределение концентраций хлорофилла внутри сезона показано на рис. 3.

Величины прозрачности по белому диску также представлены в табл. 2. Худшие показатели за период открытой воды: на P1 — 4,0 м — 10.05.2017; на P2 — 4,0 м — 10.05.2017; на P3 — 2,8 м — 30.06.2017. График хода прозрачностей за сезон 2017 г. приведен на рис. 4. Также данный график показывает, что в целом прозрачность воды повышается от весны к осени.

По прозрачности определяется биохимическое состояние воды, определяющее скорость эвтрофикации озер и преобладание тех или иных элементов, нарушающие деятельность биогеоценоза в определенной местности. Известно, что основными факторами окружающей среды, влияющими на макробентос озера, являются температура летом, прозрачность, растворенный кислород и рН [4]. Эвтрофикация зависит от температуры воды, характера водообмена, размеров, прозрачности, а также от особенности флоры и фауны водоема. На данный момент эти озера отнесены к мезотрофному типу, однако в разных частях нагрузка, в том числе антропогенная, на озера не одинакова. Наибольших значений она достигает в западной части, где сказывается влияние г. Валдая. Основными загрязнителями открытых водоемов продолжают оставаться промышленные предприятия, животноводческие, жилищно-коммунальные объекты, сбрасывающие в водоемы неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды [6].

Во время исследований была определена температура воды на трех вертикалях. Показания приборов представлены в таблицах.

Как видно из табл. 3 температура воды в Валдайском озере и озере Ужин на 31.05.2018 достаточно низкая и колеблется на поверхности от 14,2 до 14,7 °С. Также можно отметить на всех промерочных вертикалях наличие термоклина, который начинается на глубине 4—5 м, что как раз характеризуется прозрачностью вод этих озер. Температура воды на дне во всех точках исследований отличается значительно — от 4,4 на вертикали № 2 до 7,5 °С на вертикали № 1, что связано с наличием придонных холодных источников. В целом температура Валдайского озера летом не очень высокая и составляет +18, +20 °С.

Температура воды в Валдайском озере и озере Ужин на 09.06.2018 повысилась незначительно. Максимальная температура на вертикали № 2 составляет +15,2 °С, а минимальная на вертикали № 1 + 13,8 °С.

Наличие термоклина на 09.06.2018 также четко прослеживается. Температура воды на дне во всех точках исследований отличается незначительно от 4,1 °С на вертикали № 3 до 5,2 °С на вертикали № 1.

Соотношение питательных веществ, прозрачности воды, количество хлорофилла «а» определяют тип озера [5]. Щелочная реакция рН в данных озерах позволяет их отнести к мезотрофному и эвтрофному типам.

**Заключение.** Рассмотренные в настоящей статье результаты исследований можно обобщить в следующих выводах:

1. Установлены особенности вертикального изменения температуры воды в озерах Валдайское и Ужин.

2. Определено содержание хлорофилла «а» и показана его динамика. Концентрация хлорофилла «а» является главным фактором при характеристике фитопланктона водоемов.

3. Изучена прозрачность данных озер, а также дана динамика прозрачности по сезонам.

## Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2008 году». — М.: НИА-Природа, 2009. — 457 с.
2. Недагарко И. В. Отчет о научно-исследовательской работе по мониторингу озер Валдайское и Ужин. — Валдай: Валдайский филиал ГГИ, 2017. — 32 с.
3. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Современные тенденции изменения поверхностных водных ресурсов Московского региона. Сборник: «Геоэкологические проблемы Новой Москвы», 2013. С. 27—33.
4. Chen Jianqin, Hu Dongfang, Zhang Chenling. (2018) Temporal and spatial changes of macrobenthos community in the regions frequently occurring black water aggregation in Lake Taihu. SCIENTIFIC REPORTS, vol. 8, no. 5712.
5. Buhan, SD (Buhan, SalihaDirim), Bektas, N (Bektas, Nihal), Kocer, MAT (Kocer, Mehmet Ali T.), Dogan, HM (Dogan, Hakan Mete), Buhan, E (Buhan, Ekrem), Polat, F (Polat, Fatih). (2015) TROPIC STATUS AND THREATS IN ZINAV LAKE (TOKAT/TURKEY), FRESINIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN, vol. 24, no. 1A, pp. 203—207.
6. «О состоянии окружающей природной среды Новгородской области в 2015 году» доклад губернатора Новгородской области С. Г. Митина. URL: [https://www.novreg.ru/vlast/governor/reports/doklad\\_2015\\_Jekologicheskij\\_dorobotannij.pdf](https://www.novreg.ru/vlast/governor/reports/doklad_2015_Jekologicheskij_dorobotannij.pdf) Дата обращения: 01.11.2018.

7. Недогарко И. В. Береговые зоны озер национального парка «Валдайский» и проблемы их использования // Материалы региональной научно-практической конференции «Полевой сезон 2011: Исследования и природоохранные действия на особо охраняемых природных территориях Новгородской области. Печатный двор «Великий Новгород». 2012. С. 83–86.
8. Ефимова Л. Е., Фролова Н. Л. Гидрологический мониторинг в пределах особо охраняемых природных территорий // Вода: химия и экология, 2013. № 5, С. 20–28.
9. Зимний гидрологический режим озер Валдайской возвышенности. Отчет экспедиции Географического факультета, МГУ им. М. В. Ломоносова, 2016. 30 с.
10. Недогарко И. В. Гидрологическое обоснование границ Валдайского государственного природного национального парка (ВГПНП) / Труды национального парка «Валдайский»: юбил. сб. к 20-летию Валдайского национального парка / ФГУ «Национальный парк «Валдайский»». — СПб., 2010. — Вып. 1. — С. 15–31.

---

## THE MAINTENANCE OF THE CHLOROPHYLL “A” AND THE FEATURES OF VERTICAL DISTRIBUTION OF WATER TEMPERATURE IN THE LAKES OF VALDAI AND UZHIN

**D. V. Vasin**, Ph. D. (Geography), Associate Professor, dv.vasin@mgou.ru,

**Yu. M. Grishayeva**, Ph. D. (Pedagogics), Dr. Habil., Professor, um.grishaeva@mgou.ru,

**Z. N. Tkachyova**, Ph. D. (Pedagogics), Associate Professor, zn.tkacheva@mgou.ru,

**N. A. Martyanova**, undergraduate, natasha\_martyanova@mail.ru,

Moscow State Regional University, Mytishchi, Russia

### References

1. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2008 godu. [State report “On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2008”]. Priroda, 2009. P. 457. [in Russian]
2. Nedogarko I. V. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po monitoringu ozer Valdayskoy i Uzhin za 2017 god. [Report on the research on the monitoring of the lakes of Valdai and Uzhin for 2017]. Valday, 2017. P. 32. [in Russian]
3. Koronkevich N. I., Mel'nik K. S. Sovremennyye tendentsii izmeneniya poverkhnostnykh vodnykh resursov Moskovskogo regiona. [Current trends in surface water resources of the Moscow Region]. Sbornik Geoekologicheskkiye problemy Novoy Moskvy, 2013. P. 27–33. [in Russian]
4. Jianqin Ch., Dongfang H., Chenling Zh. Temporal and spatial changes of macrobenthos community in the regions frequently occurring black water aggregation in Lake Taihu. SCIENTIFIC REPORTS, 2018. Vol. 8, No. 5712.
5. Buhan S., Bektas N., Kocer M., Dogan H., Buhan E., Polat F. TROPHIC STATUS AND THREATS IN ZINAV LAKE (TOKAT/TURKEY), FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN, 2015. Vol. 24, No. 1A, P. 203–207.
6. Mitina S. G. “O sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy Novgorodskoy oblasti v 2015 godu” [On the state of the environment of the Novgorod Region in 2015]. Doklad gubernatora Novgorodskoy oblasti, 2015. URL: [https://www.novreg.ru/vlast/governor/reports/doklad\\_2015\\_Jekologicheskij\\_dorobotannyj.pdf](https://www.novreg.ru/vlast/governor/reports/doklad_2015_Jekologicheskij_dorobotannyj.pdf) [in Russian]
7. Nedogarko I. V. Beregovyye zony ozer natsional'nogo parka “Valdayskiy” i problemy ikh ispol'zovaniya // Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Polevoy sezon 2011: Issledovaniya i prirodookhrannyye deystviya na osobo okhranyayemykh prirodnnykh territoriyakh Novgorodskoy oblasti. [Coastal areas of the lakes of the Valdai National Park and the issues of their use. *Proceedings of the regional scientific-practical conference Field season 2011: Research and environmental activities in specially protected natural areas of the Novgorod Region*]. Pechatnyy dvor “Velikiy Novgorod”, 2012. P. 83–86. [in Russian]
8. Efimova L. E., Frolova N. L. Gidrologicheskii monitoring v predelakh osobo okhranyayemykh prirodnnykh territoriy. [Hydrological monitoring within specially protected natural areas]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2013, No. 5, P. 20–28. [in Russian]
9. Zimniy gidrologicheskiiy rezhim ozer Valdayskoy vozvyshennosti. [Winter hydrological regime of the lakes of the Valdai Hills]. *Otchet ekspeditsii Geograficheskogo fakul'teta, MGU im. M. V. Lomonosova*. Moscow, 2016. P. 30. [in Russian]
10. Nedogarko I. V. Gidrologicheskoye obosnovaniye granits Valdayskogo gosudarstvennogo prirodnogo natsional'nogo parka (VGPNP). [Hydrological study of the boundaries of the Valdai State National Park (VSNP)]. *Trudy natsional'nogo parka “Valdayskiy”*: yubil. sb. k 20-letiyu Valdayskogo natsional'nogo parka / FGU “Natsional'nyy park “Valdayskiy””. SPb., 2010. No. 1, P. 15–31. [in Russian]

## ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ ЮЖНОЙ ОКРАИНЫ СЕВЕРНОЙ АЗИИ: РАЗНООБРАЗИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Т. А. Аюшина, кандидат биологических наук,  
научный сотрудник, [tyuana2602@mail.ru](mailto:tyuana2602@mail.ru),  
В. И. Убугунова, доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
[ibuginova57@mail.ru](mailto:ibuginova57@mail.ru),  
Ц. Н. Насатуева, инженер,  
[tsympilmann@mail.ru](mailto:tsympilmann@mail.ru),  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт общей  
и экспериментальной биологии  
Сибирского отделения Российской академии  
наук, г. Улан-Удэ, Россия

Формирование и распространение засоленных почв в Иволгинской котловине обусловлено аридностью климата с интенсивным испарением, ландшафтной позицией, особенностями геоморфологии и литологии, гранулометрическим составом, близким залеганием минерализованных грунтовых вод. Установлено, что засолением охвачено около 43 % почвенного покрова, из них 16 % имеют сильную степень засоления. Выявлено разнообразие засоленных почв, которые относятся к постлитогенному стволу галоморфного, щелочно-дифференцированного и органо-аккумулятивного отделов и синлитогенному стволу аллювиального отдела. Анализ физико-химических свойств засоленных почв показал, что для них характерен неоднородный гранулометрический состав (варьирует от легкого до тяжелого), слабощелочная реакция среды, высокое содержание обменного магния в составе почвенного поглощающего слоя, что является региональной особенностью. Специфичность условий почвообразования и разнообразие засоленных почв Иволгинской котловины требуют систематического мониторинга за их состоянием. Нарушение экологического равновесия неизбежно приведет к увеличению площади засоленных земель, повышению эрозионных процессов, вторичного оглеения, переуплотнения. В настоящее время наиболее рационально использовать засоленные почвы в качестве пастбища и сенокоса, улучшая продуктивность и качество травостоя подсевом солеустойчивых и хорошо поедаемых трав.

The formation and distribution of saline soils in the Ivolginsky Depression is due to the climate aridity with intense evaporation, landscape position, peculiarities of geomorphology and lithology, granulometric composition, mineralized groundwater lying close to the surface. It is established that salinity covers about 43 % of the soil cover, including 16 % having a strong salinity degree. The diversity of saline soils which belong to the postlithogenic trunk of halomorphic, alkaline-differentiated and organo-accumulative departments and the sinlithogenic trunk of alluvial department is revealed. The analysis of physical and chemical properties of saline soils showed that they are characterized by heterogeneous granulometric composition (varies from light to heavy), weakly alkaline reaction of the medium, high content of exchangeable magnesium in the composition of soil absorbing layer, which is a regional feature. The specificity of conditions of soil formation and diversity of saline soils of the Ivolginsky Depression require systematic monitoring of their condition. The disruption of the ecological balance will inevitably lead to an increase in the saline lands area, increased erosion processes, secondary glee, recompaction. At present, it is the most rational to use saline soils as pastures and hayfields, improving the productivity and quality of the herbage by sowing salt-resistant and well-eaten herbs.

**Ключевые слова:** засоленные почвы, разнообразие, мониторинг, природопользование, Северная Азия.

**Keywords:** saline soils, diversity, monitoring, nature management, North Asia.

**Введение.** Иволгинская котловина занимает южную окраину Северной Азии и представляет собой одну из многочисленных мезозойских впадин, для которых общими являются: сложность и длительность геологического и тектонического развития внутриконтинентальной территории, горно-котловинный рельеф, экстроконтинентальный климат, дефицит атмосферных осадков в вегетационный период (200—250 мм), при активном испарении с поверхности почв (1, 2). Все это определяет своеобразие солепроявления в почвах и их водно-солевой режим.

До настоящего времени остаются малоизученными засоленные почвы котловин Северной Азии (3, 4). Они отличаются повышенной уязвимостью к антропогенным воздействиям. В настоящее время часть из этих почв сильно засолена, вследствие чего практически изъята из сельскохозяйственного оборота.

Целью нашей работы было изучение разнообразия и особенностей природопользования засоленных почв Северной Азии на примере Иволгинской котловины Бурятии.

**Объект и методы исследований.** Работы проводили в Иволгинской котловине Бурятии. Объектом исследований были засоленные почвы, относящиеся к разным типам почвообразования (5). Определение химических и физико-химических свойств почв проводили по общепринятым методикам (6, 7), степень и химизм засоления почв — по методу Базилевич (8), состав обменных катионов в засоленных почвах — по методу Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой. Проведение картографического анализа почвенного покрова проводили с помощью ArcGIS 9.0.

Распространение засоленных почв Иволгинской котловины тесно связано с их ландшафтной позицией, особенностями геоморфологии и литологии (9). Засоление почв наиболее выражено в пойменно-озерных понижениях, на низких над-

пойменных террасах и слабонаклонных аллювиально-пролювиальных равнинах. Здесь расположены небольшие озера, также территория богата целебными минеральными радоновыми источниками, выходы которых приурочены к тектоническим разломам (10). По температурному режиму минеральные источники и аршаны (Халюта, Отобулаг, Номин-Аршан, Уха-Тологой, Саган-Жалга и др.) относятся к холодным, с температурой воды ниже 20 °С и часто используются местными жителями в лечебных целях.

Почвообразующие породы котловины весьма разнородны и преимущественно незасоленные. В северо-западной части преобладают слоистые галечниковые и валунно-галечниковые отложения, встречаются отложения глин, аллювиальных и древнеозерных песков. В центральной части котловины постепенно увеличивается роль глинистых и суглинистых отложений. В нижнем течении р. Иволга их мощность может достигать 1,0—1,5 м и более. Здесь они перекрывают песчаные и гравийно-галечниковые отложения. В южной части котловины почвообразующие породы достаточно однородны и представлены преимущественно песчаными массивами, мощность которых достигает 100 м и более.

**Результаты и обсуждение.** Изучение почвенного покрова Иволгинской котловины выявило

разнообразии засоленных почв, которые относятся к постлигитогенному стволу галоморфного, щелочно-дифференцированного и органо-аккумулятивного отделов и синлигитогенному стволу аллювиального отдела (табл. 1). Засоленными почвами в Иволгинской котловине занято около 6700 га, что составляет около 40 % территории. Из них около 1190 га представлено солончаками.

На исследуемой территории засоленные почвы приурочены к центральной части правобережной поймы р. Иволга и днищам Тапхарских микроркотловин. Центральная часть котловины сложена преимущественно тяжелыми суглинистыми наносами и является наиболее обширной и засоленной. Накоплению илистых частиц способствовало резкое выполаживание склонов и, возможно, в прошлом эта территория была заболочена. Наличие локальных молодых продольных разломов в центральной части котловины привело к поднятию юрско-меловых отложений и росту минерализации вод сульфатно-натриевого типа, что наряду с выпотным водным режимом способствовало засолению почв. Почвенный покров образуют сильнозасоленные солончаково-солонцовые комплексы: солончаки светлые (ТНИ-3, ТНИ-13), солончаки светлые квазиглеевые криотурбированные (ТНИ-18), значительно реже встречаются солонцы светлогумусовые квазиглееватые (ТНИ-12).

Изучение физико-химических свойств солончаков показало, что для них характерен неоднородный (варьирует от легкого до тяжелого) гранулометрический состав. Почвы имеют слабощелочную реакцию среды и характеризуются достаточно высоким содержанием обменных оснований (табл. 2). Региональной особенностью этих почв является высокое содержание в почвенном поглощающем комплексе магния, что объясняется большой растворимостью солей магния в почвенно-грунтовых водах при обилии сульфатов. На сильнозасоленный тип с большим преобладанием натрия и магния в составе ЕКО указывает соотношение Ca:Mg:Na, равное 1:4:5. В солончаках ярко выражен максимум солей в верхних горизонтах до 1,9 %, в солонцах максимум легкорастворимых солей залегает на некоторой глубине. Тип засоления почв — сульфатно-натриевый.

В бессточных замкнутых депрессиях Тапхарских микроркотловин, расположенных в южном борту Иволгинской впадины, обнаружены солончаки с наибольшей степенью засоления по всему профилю: в верхнем горизонте содержание легкорастворимых солей равно 2,75 %, на глубине 1,2 м — 0,9 %. Среди анионов преобладают сульфаты, хлориды, из катионов — натрий. Причине высокого содержания солей считаем наложе-

**Таблица 1**  
**Разнообразие засоленных почв**  
**Иволгинской котловины**

Постлигитогенные		
Галоморфные	Солончаки	типичные солонцеватые слабодифференцированные (лигитогенные)
	Солончаки глеевые (квазиглеевые)	типичные солонцеватые
	Солончаки сульфидные (соровые)	
	Солончаки темные	
	Солончаки вторичные	
Органогенные	Светлогумусовые	засоленные
Щелочно-глинисто-дифференцированные	Солонцы светлые	
Синлигитогенные		
Аллювиальные	Аллювиальные светлогумусовые	засоленные
	Аллювиальные темногумусовые	засоленные
	Аллювиальные квазиглеевые	засоленные
	Аллювиальные перегнойные	засоленные

ние нескольких факторов: проходящий тектонический разлом, тяжелосуглинистые отложения древних протоков пра-русла Иволги, на которых идет формирование почв, микрокотловинный рельеф, когда с окружающих останцовых низких гор и эрозионно-денудационных холмисто-грядовых возвышенностей происходит вынос и накопление легкорастворимых солей в днищах Тапхарских котловин.

Средне- и слабозасоленные почвы занимают контактные участки с сильнозасоленными ландшафтами. На повышенных участках поймы, сложенной слоистыми песчано-супесчаными аллювиальными наносами, а также на более низких элементах пойменного ландшафта при близком залегании к поверхности грубых песчано-галечниковых или крупнопесчаных отложений, распространены аллювиальные светло- и темногумусовые квазиглеевые засоленные почвы (ТНИ-14), аллювиальные перегнойно-квазиглеевые засоленные почвы. В левой бортовой части нижнего течения р. Иволги изучаемой Иволгинской котловины расположены наибольшие болотные массивы с множеством зарастающих мелких озер.

Слаборасчлененный рельеф способствует небольшому поверхностному стоку с незначительным испарением, приводящее к заболачиванию. Мухинская группа озер относится к маломинерализованным (до 0,5 г/л) с гидрокарбонатно-сульфатным кальциево-натриевым типом засоления и повышенным содержанием закисного железа. Гидроморфный комплекс представлен аллювиальными перегнойно-квазиглеевыми засоленными почвами и аллювиальными темногумусовыми квазиглеевыми криотурбированными засоленными почвами (ТНИ-11). Они характеризуются слабощелочной реакцией среды, относительно высоким содержанием обменных катионов, средними и высокими показателями гумуса и общего азота, незначительной засоленностью. Максимальная концентрация солей приурочена к верхним почвенным слоям и находится на уровне до 0,6 %. Засолению почв в районе Мухинских болот широко способствуют линзы и прослойки плотных и тяжелых суглинков и глин в почвенном профиле, создающих на отдельных участках местные напоры, а также длительное сохранение сезонной мерзлоты.

Таблица 2

Некоторые физико-химические свойства засоленных почв

Горизонты	pH <sub>водн</sub>	плотный остаток солей	гумус	N <sub>общ</sub>	<0,001 мм	ЕКО	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
		%				%	мг-экв/100 гр. почвы			
Солончак светлый (ТНИ-13)										
S[AJ]	7,8	1,741	2,19	0,46	44	20,1	2,0	8,0	9,9	
S[AJ]C	7,8	0,363	0,77	0,16	45	15,1	5,6	5,2	4,2	
1C	7,6	0,117	0,48	0,13	24	12,3	5,6	4,0	2,6	
2C	7,9	0,140	0,66	0,09	43	19,6	10,8	5,2	3,5	
Солонец светлогумусовый квазиглееватый (ТНИ-12)										
AJs	7,8	0,872	1,83	0,36	32	17,1	2,8	6,8	7,0	
BSN	8,3	1,798	0,21	0,06	44	20,1	1,6	6,4	12,0	
Cca,s,q	8,2	1,815	0,19	0,02	29	18,1	1,6	8,4	8,0	
Аллювиальная темногумусовая квазиглеевая засоленная (ТНИ-14)										
AUs	7,8	0,385	5,09	0,94	20	17,5	7,6	6,0	3,8	
1Q	7,3	0,117	0,96	0,21	24	15,8	7,2	6,4	2,1	
2Q	8,1	0,140	0,69	0,15	25	14,6	7,6	4,8	2,1	
QCc	8,2	0,134	0,57	0,08	24	12,6	6,8	4,0	1,7	
Аллювиальная темногумусовая квазиглеевая криотурбированная засоленная (ТНИ-11)										
AUs,@	7,6	0,560	8,18	1,35	25	20,9	7,6	7,6	5,6	
AUQ@	7,7	0,190	0,96	0,21	22	15,8	10,4	3,6	1,7	
Q@	7,6	0,074	0,67	0,19	23	18,9	12,4	4,8	1,6	
C	7,4	0,070	0,32	0,06	9	11,2	5,2	4,0	1,9	
Солончак светлый квазиглеевый криотурбированный темноязыковатый (ТНИ-18)										
S(AJ)pa	7,6	2,753	2,96	0,61	32	22,2	2,0	8,8	11,3	
1Qs,@,yu	8,0	1,693	1,05	0,22	42	19,7	2,4	9,2	8,0	
2Qs	7,9	1,566	0,86	0,11	7	18,9	5,2	8,4	5,2	
CQs	7,9	0,891	0,99	0,13	63	21,5	8,4	7,2	5,7	
Солончак светлый (ТВИ-3)										
S(AJ)	7,9	2,132	2,47	0,61	28	16,0	1,2	5,6	8,9	
S(AJ)C	7,9	1,516	1,22	0,33	35	13,0	1,6	3,2	8,0	
1Cs	8,2	1,827	0,53	0,10	7	9,0	1,6	2,4	4,9	
2Cs	8,0	0,937	0,52	0,11	40	10,0	1,6	2,4	5,9	
3Cs	8,1	0,337	0,32	0,07	27	10,7	2,0	3,0	5,6	
4Cs	8,1	0,399	0,45	0,09	36	12,9	2,4	4,0	6,4	

**Заключение.** Анализ морфологического строения, водно-физических и химических свойств почв показал, что на исследуемой территории формируются разные типы засоленных почв. Специфичность условий почвообразования и разнообразие засоленных почв Иволгинской котловины требуют систематического мониторинга за их состоянием. Нарушение экологического равновесия неизбежно приведет к увеличению площа-

ди засоленных земель, повышению эрозионных процессов, вторичного оглеения, переуплотнения. В настоящее время наиболее рационально использовать засоленные почвы в качестве пастбища и сенокоса, улучшая продуктивность и качество травостоя подсевом солеустойчивых и хорошо поедаемых трав — солерос однолетний, сведа сибирская, ячмень короткоостистый, бескильница тонкоцветная (11).

### Библиографический список

1. Алексеев В. Р. Криология Сибири. — Новосибирск: изд-во ГЕО, 2008. — 482 с.
2. Черноусенко Г. И. О генезисе засоления почв Западного Забайкалья / Черноусенко Г. И., Ямнова И. А. // Почвоведение. — 2004. — № 4. — С. 399—414.
3. Митупов Ч. Ц. Засоленные почвы Иволгинской долины Бурятская АССР: автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Митупов Ч. Ц. — М: МГУ, 1973. — 24 с.
4. Хутакова С. В. Почвы приозерного межгорного понижения Иволгинско-Оронгойской котловины / Хутакова С. В., Аюшина Т. А., Убугунова В. И. // Вестник Бурят. сельскохозяйств. академии. — 2014. — № 3 (36). — С. 53—59.
5. Полевой определитель почв России. — М.: Почв. Ин-т им. Докучаева, 2008. — 182 с.
6. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 656 с.
7. Хитров Н. Б. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Хитров Н. Б., Позинковский А. А. — М., 1990. — 236 с.
8. Базилевич Н. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Базилевич Н. И., Панкова Е. И. // Бюл. Почв. Ин-та им. Докучаева. — 1972. — Вып. 5. — С. 36—40.
9. Убугунов Л. Л. Разнообразие почв Иволгинской котловины: эколого-агрохимические аспекты / Убугунов Л. Л., Лаврентьева И. Н., Убугунова В. И., Меркушева М. Г. — Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2000. — 208 с.
10. Лунина О. В. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири / Лунина О. В., Гладков А. С., Шерстянкин П. П. // ДАН, 2010. — Т. 433, № 5. С. 1—6.
11. Харитонов Ю. Д. Кормовая ценность степных пастбищ Юго-Западного Забайкалья / Харитонов Ю. Д. — Новосибирск: Наука, 1980. — 128 с.

---

## SALINE SOILS OF THE SOUTHERN BORDER OF NORTH ASIA: DIVERSITY AND PECULIARITIES OF NATURE MANAGEMENT

**T. A. Ayushina**, Ph. D. (Biology), Researcher, Institute of General and Experimental Biology SB RAS, tuyana2602@mail.ru, Ulan-Ude, Russia,

**V. I. Ubugunova**, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Institute of General and Experimental Biology, SB RAS, ubugunova57@mail.ru, Ulan-Ude, Russia,

**Ts. N. Nasatueva**, Engineer, Institute of General and Experimental Biology, SB RAS, tsympilmann@mail.ru, Ulan-Ude, Russia

### References

1. Alekseev V. R. Kriologiya Sibiri [Cryology of Siberia]. Novosibirsk: GEO, 2008. 482 p. [in Russian]
2. Chernousenko G. I., Yamnova I. A. O genezise zasoleniya pochv Zapadnogo Zabajkalya [The genesis of soils salinization in Western Transbaikalia]. *Soil science*. Moscow. 2004. No. 4. P. 399—414. [in Russian]
3. Mitupov Ch. C. Zaslennyye pochvy Ivolginskoy doliny Buryatskaya ASSR: avtoref. diss.kand.biolog.nauk [Saline soils of the Ivolginsky hollow of the Buryat ASSR]. Moscow, MGU, 1973. 24 p. [in Russian]
4. Hutakova S. V., Ayushina T. A., Ubugunova V. I. Pochvy priozernogo mezhgornogo ponizheniya Ivolginsko-Orongojskoj kotloviny [Soils of lakeside intermountain basin of the Ivolginsk-Orongojsky hollow]. Ulan-Ude: *Vestnik Buryat. selskhoz. akademii*. 2014. No. 3 (36). P. 53—59. [in Russian]
5. Polevoy opredelitel pochv Rossii [Field determinant of the Russian soils]. Moscow, Pochv. In-t im. Dokuchaeva, 2008. 182 p. [in Russian]
6. Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. Moscow, Nauka, 1975. 656 p. [in Russian]
7. Khitrov N. B., Ponizovskij A. A. Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava nejtralnyh i shelochnyh mineralnyh pochv [Guidelines for laboratory methods of studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils]. Moscow, Pochv. In-t im. Dokuchaeva, 1990. 236 p. [in Russian]
8. Bazilevich N. I., Pankova E. I. Opyt klassifikacii pochv po soderzhaniyu toksichnyh solej i ionov [Experience of soil classification according to the content of toxic salts and ions]. Moscow, Byul. Pochv. In-ta im. Dokuchaeva, 1972. Vol. 5. P. 36—40. [in Russian]
9. Ubugunov L. L., Lavrenteva I. N., Ubugunova V. I., Merkusheva M. G. — Raznoobrazie pochv Ivolginskoy kotloviny: ekologo-agrohimicheskie aspekty [The diversity of the soils of the Ivolginsk Depression: ecological-agrochemical aspects]. Ulan-Ude, BGSXA, 2000. 208 p. [in Russian]
10. Lunina O. V., Gladkov A. S., Sherstyankin P. P. Novaya elektronnaya karta aktivnyh razlomov yuga Vostochnoj Sibiri [New electronic map of active faults in the south of Eastern Siberia]. DAN, 2010. Vol. 433, No. 5. P. 1—6. [in Russian]
11. Kharitonov Yu. D. Kormovaya cennost stepnyh pastbish Yugo-Zapadnogo Zabajkalya [The feed value of the steppe grassland in South-Western Transbaikalia]. Novosibirsk, Nauka, 1980. 128 p. [in Russian]



## К ВОПРОСУ ВОВЛЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЮНЕСКО РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В РАЗВИТИЕ ТУРИЗМА НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С. А. Шабалина, доцент,  
кандидат географических наук,  
sshabalina74@gmail.com,  
Казанский федеральный университет,  
Т. Э. Курмаев, старший преподаватель,  
кандидат педагогических наук,  
Поволжская государственная академия  
физической культуры, спорта и туризма,  
г. Казань, Россия

Рассматриваются проблемы правового и социально-экономического характера вовлечения памятников истории и культуры статуса ЮНЕСКО Татарстана в сферу туристской индустрии. Охарактеризована динамика посещений на объекты ЮНЕСКО — Казанский Кремль, Великий Болгар и остров-град Свияжск. При возрастающем потоке посетителей необходимо стремиться сохранить объекты в достойном, аттрактивном состоянии на основе механизма рационального функционирования. Одним из вариантов предлагается механизм поиска компромиссных решений между растущим количеством посетителей и службами, отвечающими за сохранность объектов ЮНЕСКО. Рассматривается вопрос совершенствования механизма экскурсионных программ и реорганизации деятельности музеев, в частности интерактивные экспозиции. Предлагаются пути решения проблемы и развития туризма на основе имеющейся инфраструктуры, путем вовлечения исторических зданий в гостиничный сектор и пунктов общественного питания. При большинстве предлагаемых путей высказывается необходимость поддержки государственного регулирования.

This article considers the issues of the official and socio-economic use of Tatarstan's cultural heritage sites from the UNESCO list within the scope of tourist industry. The dynamics of the visits by tourists to the heritage sites from the UNESCO list — the Kazan Kremlin, Great Bolgar and the island-town of Sviyazhsk — is described. With the increasing flow of visitors, it is necessary to strive to preserve the sites in a decent, attractive condition on the basis of a rational functioning mechanism. One of the options is a mechanism of the search for compromise solutions between the growing amount of visitors and the services responsible for the safety of the UNESCO sites. The issues of improving the procedures of excursion programs and reorganizing the activities of the museums, in particular interactive expositions, are considered. The ways of solving the problems and the development of tourism on the basis of the existing infrastructure, by involving historic buildings in the hotel industry and catering are highlighted. In most of the proposed ways, the need to support the government regulation is expressed.

**Ключевые слова:** туризм, памятники истории, малые исторические города, рациональное использование, городская среда, управление.

**Keywords:** tourism, heritage, historical small towns, urban environment, management.

В настоящее время практически весь российский внутренний туризм формируется на использовании имеющегося историко-культурного наследия, которое в большинстве своем находится в неудовлетворительном состоянии. В последние годы в стране проводятся целенаправленные планомерные научные исследования в сфере планирования туристско-рекреационной сферы в отдельных регионах или городах. Важнейшим вопросом является взаимодействие туризма и наследия — отношения туризма как отрасли экономической и хозяйственной деятельности к наследию, людям, которые живут и работают в исторических городах, на исторических территориях. Наследие, вовлеченное в сферу туризма, с одной стороны, выполняет воспитательную и культурную функции (формирование национального менталитета, сохранение самосознания народа, воспитание патриотизма). С другой стороны, не менее важна его экономическая роль: налоговые поступления в бюджеты разных уровней, улучшение инфраструктуры, создание рабочих мест, вклад в решение экологических проблем. В этом случае туризм активно способствует сохранению и рациональному использованию культурного и природного наследия региона. В настоящее время приходится признать, что доходы от туристской отрасли в формировании ВРП Республики Татарстан составили 1 % [1].

Коммерческий подход к культурно-познавательному туризму приводит к тому, что туристические фирмы сосредоточиваются, как правило, на каком-либо выгодном для них направлении или проекте, старательно избегают равноправных отношений с учреждениями, деятельностью которых является охрана и использование культурно-исторического наследия. Самыми распространенными становятся маршруты одного дня, когда фирмы экономят на размещении туристов, посещении музейных объектов и фактически не вступают в контакт с местными органами, отвечающими за развитие туризма и сохра-

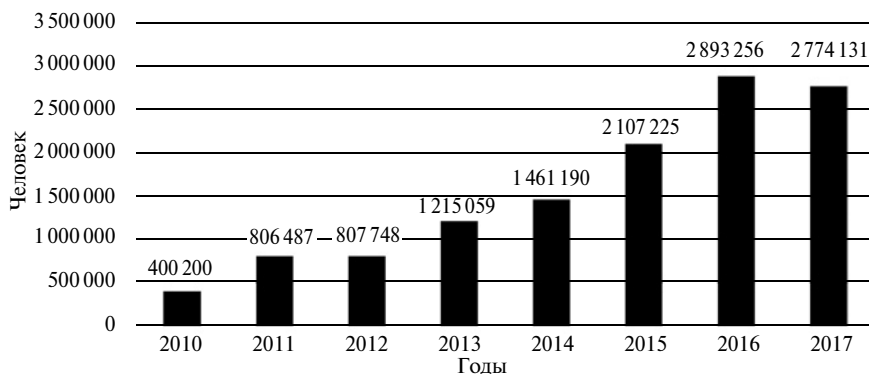


Рис. 1. Динамика посетителей Казанского Кремля (по данным Госкомитета по туризму РТ) [1]

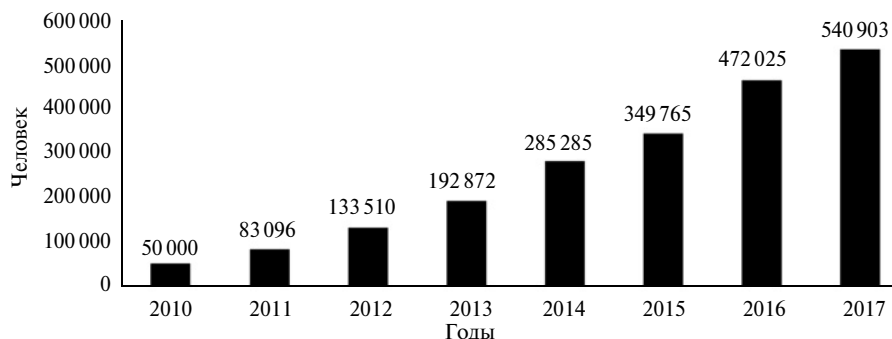


Рис. 2. Динамика посетителей Великий Болгар (по данным Госкомитета по туризму РТ) [1]

нения исторических объектов. Для городов, которые являются объектами такого рода посещений, имеющийся культурно-исторический потенциал востребован в неполной мере, а экономическая выгода остается у организаторов маршрута [2]. В результате мы имеем минимальную, если не сказать, скудную туристическую инфраструктуру практически во всех малых городах.

Возникает необходимость в разработке нового типа программ, которые опирались бы и учитывали не только интересы туристических фирм, но и предполагали бы программу развития для целого региона. Она должна содержать общерегиональное стратегическое решение, направленное на выявление и использование историко-культурного потенциала в целях социально-культурного и экономического развития территории.

Существует множество форм включения культурно-исторических ресурсов в систему туристического обслуживания. Наиболее распространенная форма — организация музеев и экскурсионно-исторических маршрутов. Атрактивность культурных комплексов определяется их художественной и исторической ценностью, модой и доступностью по отношению к местам спроса. Так, на следующих графиках можно наглядно проследить возрастающий поток посетителей объектов ЮНЕСКО Республики Татарстан.

Одним из возможных способов повышения эффективности использования потенциала куль-

турного наследия в туристском освоении может стать создание территориальных образований, где в комплексе сочетаются культурно-исторические объекты, культурные ландшафты, умения ремесленников, поваров, а также национальные праздники, традиции.

Деятельность этих территориальных структур должна быть направлена на сохранение, возрождение, туристское освоение памятников и их естественной среды, воссоздание традиционного природопользования, циклов обыденной жизни и всего бытового уклада с одновременным органическим вхождением в современные хозяйственные и социальные процессы. Экономическая деятельность в данном случае является важной частью комплексного процесса, включающего сохранение и использование туристско-рекреационного потенциала культурного наследия.

Со столь возрастающим потоком посетителей данных объектов возникает ряд проблем. Во-первых, проблема защиты объектов от туристов, нерациональное использование их в экскурсионно-туристических целях, расчет предельных нагрузок на памятник. Во-вторых, именно туристская индустрия является наиболее заинтересованной стороной в сохранении и возрождении объектов, являющихся туристическим продуктом. В таком противоречии двух сторон проявляется главная задача развития культурно-просветительского ту-

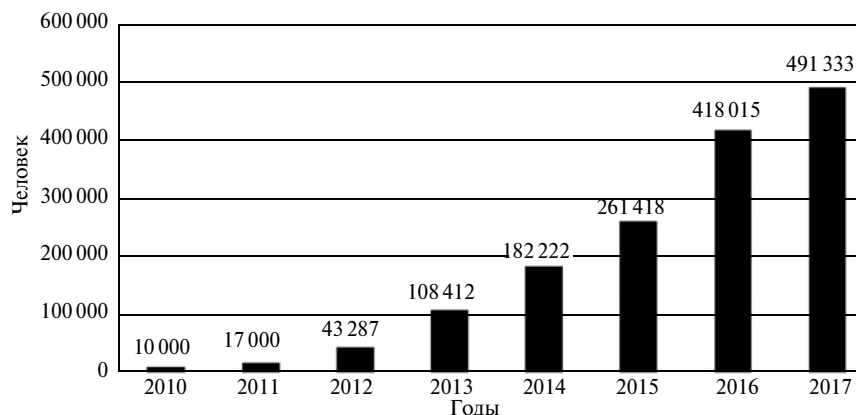


Рис. 3. Динамика посетителей острова-град Свияжск (по данным Госкомитета по туризму РТ) [1]

ризма. Эти две противоположные позиции должны дополнять друг друга.

Развитие культурно-познавательного туризма напрямую зависит от уровня организации гостиничного хозяйства. Оптимальный вариант — использование собственно архитектурных памятников и строений, тем самым не нарушая историческую среду и предоставляя возможность для введения различных инноваций, с целью комфортного размещения туристов. В малых городах и исторических центрах главное внимание должно быть обращено на создание небольших гостиниц по примеру существующих на Соловках, Суздале, Ростове Великом [3].

Низкий уровень или отсутствие специализированного менеджмента в органах культуры малых городов, музеях и музеях-заповедниках также не способствует увеличению туристического потока. Возможно использование музейных экспонатов в интерьере города (вокзалы, гостиницы, театры, рестораны, образовательные учреждения), что повысит информативность населения и развития бережного отношения к обустройству города [4].

Сохранение культурно-исторического наследия должно опираться на правовую основу. Зачастую бесконтрольное и чрезмерное использование памятников может привести к деградации и даже к их полной утрате.

Основным недостатком имеющихся законодательных актов (закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», «Об охране окружающей среды» и «Об особо охраняемых природных территориях», Земельный кодекс, Градостроительный кодекс, Лесной кодекс) является их четкая ориентация на определенные ведомства, что не позволяет создать системный механизм сохранения, содержания и использования [5]. С другой стороны, отсутствует распределение ответственности между федеральными и регио-

нальными властями, невозможное использование нормы закона о культурном наследии в процедуре приватизации памятников, при переводе земель поселений или сельскохозяйственных земель, расположенных в пределах территории памятника историко-культурного заповедника, в земли историко-культурного назначения.

Зачастую создание и функционирование музеев-заповедников определяет круг задач как территориальную охрану культурных и природных ландшафтов различными правительственными постановлениями. Таким образом, они формируются как государственные учреждения и функционируют по уставу. Отсутствие правового основания ведет к недопониманию музеев-заповедников и турбизнеса, препятствуя созданию качественного туристского продукта, а иногда и ограничивая туристический поток. Так, главной проблемой взаимоотношений «музей-заповедник — туризм» является отсутствие у первых прав на землю и лесные участки, на которых расположены памятники и проходят экскурсионные маршруты. Исходя из сложившейся ситуации и зарегистрированных прав собственности на земельные и лесные участки музеи-заповедники не имеют правовых оснований вкладывать средства в благоустройство территории, осуществлять контроль за нелегальным проникновением на территорию, регулировать размещение пунктов торговли, питания, сервисного обслуживания. Фактически получается, что музеи-заповедники находятся вне правового поля.

Важнейшей проблемой сохранения комплекса культурного и природного наследия исторических поселений является неопределенность самого понятия «исторический город». В настоящее время согласно действующему законодательству Российской Федерации данный статус не дает никаких особых прав и не налагает специфических обязанностей на исторические поселения по сравнению с другими административно-террито-

риальными образованиями. Фактически при объявлении города историческим, не оговариваются никакие экономические и социальные условия, способствующие как возрождению, так и особому типу ведения хозяйственной деятельности. Не определен экономический механизм, способствующий восстановлению памятников архитектуры и исторической среды, привлечению дополнительных инвестиционных потоков в эту сферу. Стремясь возродить прошлое, ограничивая в исторической среде современное строительство, город как бы лишает себя прибыли от какого-либо выгодного экономического проекта, ставя себя в невыгодные условия. Такое «почетное звание», однако, ни коим образом не сказывается на налоговых льготах или предпочтениях, дополнительного финансирования. Назревает необходимая разработка специального законодательства об определении статуса исторического поселения. Это позволит выделить тип поселения в административном и правовом отношении и предоставить необходимые ему хозяйственные права. Необходимо особо выделить две позиции: первая — признание ценности историко-культурного наследия с соответствующими системами мер по его охране и вторая — создание экономических условий сохранения и использования наследия [7].

Развитие туризма с целью сохранения наследия может отчасти решить задачу переоценки общественно значимых достоинств той или иной местности, проблему в сфере управления наследием, стать стимулом более внимательного учета всех ограничений в использовании этого хрупкого ресурса. В настоящее время требуется разработка и принятие специальных правовых решений по определению статуса историко-культурных территорий и учету особенностей их развития; принятие законодательства о музеях-заповедниках, исторических поселениях, решение проблем по статусу и процедуре выделения и охраны земель историко-культурного наследия.

Одним из основных условий успеха является вовлечение в сферу туризма всего многообразия наследия, ориентация не только на иностранных туристов, но и на отечественных, сохранение доступа широкой публики к наследию, особое внимание детскому и молодежному туризму, развитию краеведческого движения. В мире накоплен огромный опыт регулирования на национальном и местном уровнях взаимоотношений между туристской индустрией и объектами культурного и природного наследия, в результате чего объекты не только сохраняются, но и возрождаются, приобретают новые аспекты своего существования, использования и развития. Увеличивается число

местных администраций, стремящихся сохранить, восстановить местные объекты культурного наследия или реставрировать его архитектурные памятники. Все это достигается комплексными мерами и применением новых технологий [7].

Тесная связь туризма с культурно-познавательными мотивами всегда была характерна для России [8]. Важным моментом на пути развития культурного туризма является интенсификация уже используемых и формирование новых туристических маршрутов:

- исторические пути, проходящие по территории Татарстана, когда-то связывавшие его с другими странами или регионами России;

- литературное краеведение заслуживает особого внимания. Путешествия по местам литературных событий — один из весьма привлекательных видов туризма и экскурсий. Привлекательности таких мест способствует установка памятников и организация музеев литературных героев;

- археологические объекты обладают огромным потенциалом для развития познавательного туризма, который в настоящее время развит достаточно слабо, что объясняется пассивной формой подачи, когда предлагается простое созерцание. Как один из вариантов привлечения туристов можно предложить участие в археологических раскопках;

- ностальгический туризм — посещение мест предков (дворянские усадьбы, города и села, кладбища, места захоронений) представителями различных диаспор, бывших жителей России и др.;

- этнографический туризм — знакомство с жизнью представителей различных этносов и религий;

- научный туризм связан не только с ознакомительными поездками, но и предполагает активное участие исследователей (студентов, стажеров, соискателей ученых степеней) в познании посещаемой территории.

Развитие туризма тесно сопряжено с функционированием многих других элементов хозяйственного комплекса. Руководители регионального и муниципального звена все чаще обращают внимание на туризм как одно из перспективных звеньев местного хозяйственного комплекса. Проявляемый интерес к объектам культурного наследия делает их одним из центральных компонентов структуры, способной изменить социально-экономическое положение в городе. Грамотное их использование позволяет стимулировать хозяйственную активность, способствует формированию производственной и социальной инфраструктуры, повышает прибыльность функционирования различных отраслей экономики [9].

Только понимание и помощь государственных органов управления в создании соответствующей обслуживающей инфраструктуры приведет к созданию комплексной туристической отрасли, наиболее полно использующей культурно-исторические и природные ресурсы региона [10]. Формирование туристического центра будет способствовать работе музеев, реставрации памятников архитектуры и культуры, решению проблемы занятости населения, сохранению этнических и народных ремесел и занятий, духовному воспитанию.

Культурно-историческое наследие это специфический и очень важный экономический ресурс региона, он может и должен стать основой одной отрасли специализации, одним из перспективных направлений реализации социальной политики и развития местной экономики, важным духовным фактором. Использование объектов культурного наследия вместе с развитием туризма, научно-образовательной сферы, возрождением традиционных производств и технологий могло бы определить будущий экономический потенциал региона.

### Библиографический список

1. Официальный сайт Государственного комитета по туризму Республики Татарстан — <http://tourism.tatarstan.ru/>
2. Ахиезер А. С. Город — фокус урбанизационного процесса / А. С. Ахиезер // Город как социокультурное явление исторического процесса. — М.: Наука, 1995. — 351 с.
3. Балдандоржиев Ж. Б. Малые города: типология и классификация в контексте культурного наследия (на примере малых городов Восточного Забайкалья) / Ж. Б. Балдандоржиев // Гуманитарный вектор. — Чита: ЗабГГПУ. — 2011. — № 3 (27). — С. 112—119.
4. Гройс Б. Город в эпоху его туристической воспроизводимости / Б. Гройс // Неприкосновенный запас. — 2003. — № 4 (30). — Режим доступа: <http://magazines.russ.ru>
5. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: федеральный закон от 28.11.2011 № 337-ФЗ (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.04.2012) (ред. 30.11.2011) // Собрание законодательства РФ. — 2002. — № 26. — Ст. 2519.
6. Могутова Л. С. Исторический город: социокультурная характеристика и тенденции развития: автореф. дис. ... канд. философ. наук / Л. С. Могутова. — М., 1998. — 25 с.
7. Шабалина С. А. Приоритетные стратегии развития малых городов России в современных социально-экономических условиях (на примере г. Елабуга) / В сборнике: Сохранение историко-культурного наследия — фактор гуманитарной безопасности. Наследие и туризм. Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 235—243.
8. Shabalina S. A., Fakhrutdinova L. R., Mustafin M. R., Shakirova A. R. Factors that affect the quality of life in Tatarstan. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Т. 24. № 2015. p. 613.
9. Gabdrakhmanov N. K., Rubtsov V. A., Shabalina S. A., Rozhko M. V., Kucheryavenko D. Z. The role of territorial organization of cities in the touristic attraction of the region on the example of the republic of Tatarsatn. *Life Science Journal*. 2014. Т. 11. № 11. С. 451.

---

## PRIORITY OF THE DEVELOPMENT STRATEGY OF THE UNESCO HERITAGE SITES IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN FOR TOURISM DEVELOPMENT

**S. A. Shabalina**, Ph. D. in Geography, Associate Professor, Department of Service and Tourism, [sshabalina74@gmail.com](mailto:sshabalina74@gmail.com), Kazan Federal University,

**T. E. Kurmaev**, Ph. D. in Pedagogics, Lecturer, Department of Services and Tourism, Volga State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

### References

1. Official website of the State Committee on Tourism of the Republic of Tatarstan. [Electronic resource]. Available at: <http://tourism.tatarstan.ru/> [in Russian]
2. Akhiezer A. S. *City as a focus of the urbanization process*. Moscow, Nauka, 2009. 351 p. [in Russian]
3. Baldandorzhiev Zh. B. *Malue goroda: tipologii i klassifikatsia v kontekte kulturnogo naslediy (na primere maluh gorodov Vostotsnogo Zabaikalya)* [Towns: Typology and Classification in the Context of Cultural Heritage]. *Gumanitarniy vector*. Chita: ZabGGPU. 2011. No. 3 (27). P. 112—119. [in Russian]
4. Groys B. *City in the era of its tourist reproducibility*. *Journal of emergency store*. 2003. Vol. 4. No. 30, [Electronic resource]. Available at <http://magazines.russ.ru>
5. *The sites of cultural heritage (historical and cultural monuments) of the peoples of the Russian Federation: Federal Law 2002. No. 26. Article. 2519.* [in Russian]
6. Mogutova L. S. *Istoricheski gorod: sotsio-kulturnay hakarakteristika i tendentsii pazvitiy* [The historical city: socio-cultural characteristics and development trends]. Moscow. 1998. P. 25. [in Russian]
7. Shabalina S. A. *priopitetnye strategii razvitiy maluh gorodov Rossii v sovremennyh sotsialno-economiceskikh usloviyah (na primere Elabuga)* [Priority strategy of Russia's development of small towns in the contemporary socio-economic conditions: a case study of Elabuga]. Abstracts of the Proceedings: *Nasledie i Turizm (International conference Heritage and Tourism)* Elabuga, 2016. P. 235—243. [in Russian]
8. Shabalina S. A., Fakhrutdinova L. R., Mustafin M. R., Shakirova A. R. Factors that affect the quality of life in Tatarstan. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 24. No. 2015. P. 613.
9. Gabdrakhmanov N. K., Rubtsov V. A., Shabalina S. A., Rozhko M. V., Kucheryavenko D. Z. The role of territorial organization of cities in the touristic attraction of the region a case study of the Republic of Tatarsatan. *Life Science Journal*. 2014. Vol. 11. No. 11. P. 451.



## ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АЛАСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

**Я. И. Торговкин**, кандидат географических наук, руководитель группы геоинформатики, [torgovkin@mpi.ysn.ru](mailto:torgovkin@mpi.ysn.ru),  
**А. А. Шестакова**, кандидат географических наук, научный сотрудник, [aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru),  
**А. И. Васильев**, младший научный сотрудник, [vasilai@mpi.ysn.ru](mailto:vasilai@mpi.ysn.ru),  
Институт мерзлотоведения  
им. П. И. Мельникова Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИМЗ СО РАН),  
Якутск, Россия

Создан ГИС-проект в формате ArcGIS одного из центральных районов Якутии, расположенных в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты. Проведен пространственный географический анализ аласов, типичных представителей мерзлотных форм рельефа, с применением ГИС-технологий. Следует подчеркнуть, что аласы, расположенные на ледовом комплексе, являются основным поставщиком грубых кормов (более 50 %) для сельского хозяйства для данной территории. Результаты пространственного анализа отражены в виде карты районирования аласности. Выявлено, что аласы составляют 7,04 % от общей территории Мегино-Кангаласского улуса. При анализе распространения аласов по наслегам оказалось, что более всего они развиты в Догдогинском наслеге (48,5 % от общей территории). Менее всего, около 1 %, аласы встречаются в Чымайыкинском наслеге. Таким образом, аласы наиболее распространены в северной и центральной части изучаемого района, где распространены ледовый комплекс. На юге района, в приводораздельных дренируемых участках отмечается их полное отсутствие. Составлена карта распространения булгуньяхов (крупных бугров пучения). Характерно то, что чаще всего булгуньяхи встречаются в центральной и северной части улуса. Здесь же расположены самые крупные булгуньяхи, высотой более 10 м.

A GIS project was developed in the format ArcGIS of one of the central regions of Yakutia, located in the zone of continuous distribution of the permafrost. A spatial geographic analysis of alas, typical representatives of permafrost relief forms, has been carried out. The alas are 7.04 % of the total area of the Megino-Kangalassky ulus. Most of all, they are developed in the Dogdoginsky settlement and make up 48.5 % of the total territory. Less than all, about 1 %, alas are found in the Chyamauykinsky settlement. Thus, alas are most common in the northern and central part of the study area, where the ice complex is distributed. In the south of the region, in the drained sections they are completely absent. On the map of the distribution of bulgunnyakhs (large tubercles of swelling) it can be seen that most often bulgunnyahs are found in the central and northern parts of the ulus. Here there are the largest bulgunnyahs, with a height of more than 10 m.

**Ключевые слова:** Центральная якутская низменность, алас, ледовый комплекс, районирование, булгуньях, термокарст, анализ.

**Keywords:** the Central Yakut Lowland, alas, ice complex, zoning, bulgunnyakh, thermokarst, analysis.

**Введение.** Мегино-Кангаласский район (улус) — один из наиболее населенных сельскохозяйственных улусов Республики Саха (Якутия), где преобладает животноводство (мясомолочное скотоводство, мясное табунное коневодство). Также выращиваются зерновые, картофель, овощи и кормовые культуры. Это самый маленький по площади улус республики, площадь которого составляет 11,6 тыс. км<sup>2</sup> (0,38 % территории республики). Административно-территориальный состав района включает 31 наслег [1].

Улус расположен на Центральноякутской низменности, южная часть — на Приленском плато. По мерзлотно-ландшафтному районированию территория Мегино-Кангаласского района находится в пределах двух провинций — Лено-Амгинской аласной и Амгино-Алданской пологоувалистой. В пределах Центральноякутской низменности широко развит аласный рельеф. Аласы можно определить как замкнутые или полузамкнутые котловины, развитые на плакорных пространствах в области с многолетнемерзлыми породами. Специфической чертой этих котловин является то, что на их дне вытаил первоначальный ледовый комплекс и началось затухание озерного режима или произошло полное усыхание озера [2]. Важнейшей характеристикой аласов является структура, возраст и обводненность аласных отложений [3]. На территории Мегино-Кангаласского района расположен алас Хотун Тюнгилю — один из самых известных аласов Центральной Якутии, образовавшийся 10—15 тыс. лет назад после ледникового периода, когда началось вытаивание подземных льдов и проседание мерзлых горных пород [1]. Днища аласов — это в основном луга, с которых в Центральной Якутии собирают свыше 50 % сена. Так как в улусе преобладает животноводство, следовательно, картирование и изучение закономерностей распространения аласов обеспечивают научные основы рационального исполь-

зования аласных угодий и их расширенное воспроизводство.

Цель работы — выявление пространственных закономерностей распространения мерзлотных форм рельефа аласов и количественная оценка аласности территории Мегино-Кангаласского района в пределах наиболее крупных геоморфологических элементов Лено-Амгинского междуречья.

Для выявления характеристик распространения аласов введен термин «аласность», под которым понимается отношение суммы площадей аласов к площади всей территории. Полученный результат выражается в процентах. Площадь аласа — это вся площадь дна котловины или долины, т. е. площадь поверхности озера вместе с площадью лугового пространства, которая показывает площадь разрушения ММП термокарстовыми процессами в голоценовое время [4].

**Методы.** Космический снимок содержит подробную информацию о состоянии объектов зем-

ной поверхности в момент съемки. Для дешифрирования снимков используют специальные методы и дополнительные данные, полученные из различных источников — карт, отчетов о полевых исследованиях и ранее полученных результатов анализа снимков той же территории. В данной работе при составлении карт были использованы космические снимки Landsat 7 ETM и Landsat 5 TM. Кроме них, были использованы ресурсы Google Maps, SAS.Планета. Оцифровка и компоновка слоев карт проводилась в среде ArcGis 10. Количественный анализ атрибутивных данных проводился в среде программ ArcGis и Excel. Также были использованы топографические карты и Атлас Мегино-Кангаласского улуса (района) [1].

**Результаты и обсуждение.** Аласы наиболее распространены в северной и центральной части улуса, что объясняется криогенным строением данной территории [5]. Общее количество оцифрованных аласов составляет 4260, оконтуривались аласы не менее 1 га (0,01 км<sup>2</sup>). Площадь всех ала-

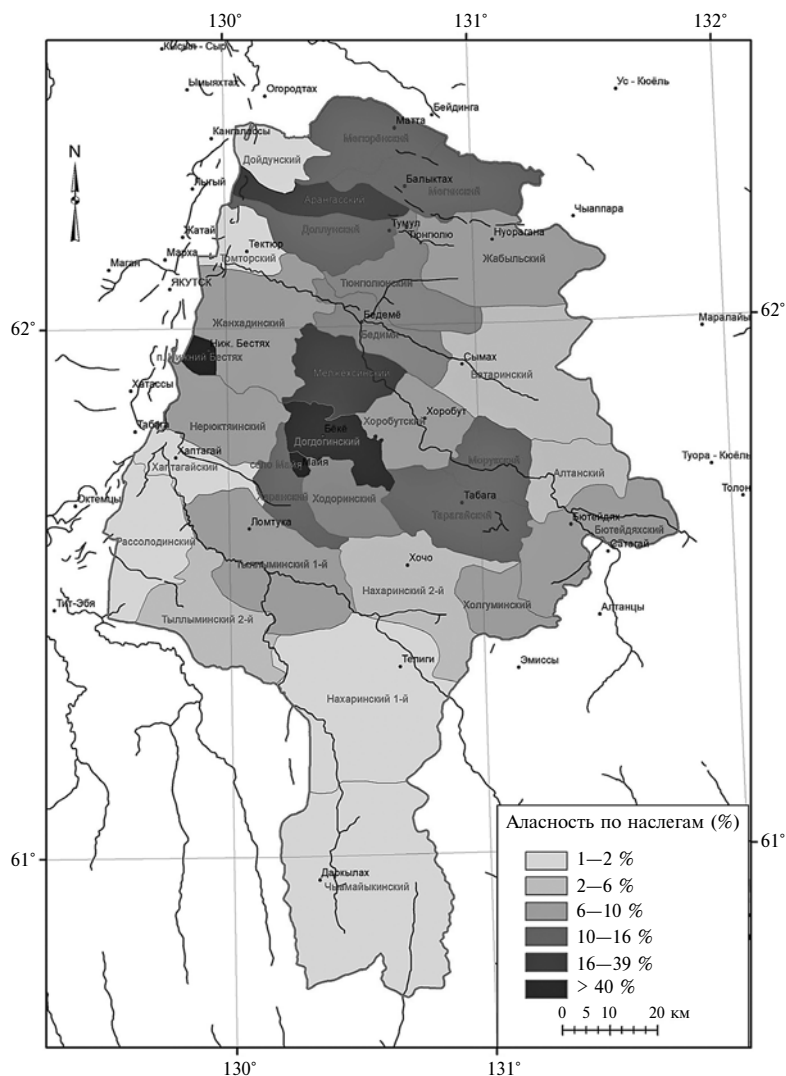


Рис. Карта аласности территории Мегино-Кангаласского района (улуса) по наслегам

сов улуса составляет 822,4 км<sup>2</sup>. Крупными аласами являются алас Тюнгиюлю (40,7 км<sup>2</sup>), Табага (10,8 км<sup>2</sup>), Тустах (10,0 км<sup>2</sup>). Подсчет показал, что аласы занимают 7,04 % от общей территории Мегино-Кангаласского улуса.

В улусе имеется 31 наслег. Целью составления карты аласности наслегов Мегино-Кангаласского улуса является выявление количественных характеристик распространения аласов для использования в хозяйственной деятельности, в основном, для животноводства (рисунок).

По размерам и территориально наслегу распределены неравномерно. Так, самыми маленькими по площади являются территории, подчиненные сельским и поселковым администрациям, — с. Майя и п. Нижний Бестях. Пространственный анализ показал, что аласы более всего распространены в Догдогинском наслеге (центр с. Беке), занимая почти половину всей территории — 48,5 %. Крупнейшими наслегами, расположенными на приводораздельных территориях и превышающими более 1 тыс. км<sup>2</sup>, являются Нахаринский 1-й и Чыамайыкинский. Аласы почти отсутствуют в этих наслеггах.

При районировании территории улуса по степени распространения аласов, в первую очередь, принималось во внимание геологическое и геоморфологическое строение, характер распространения аласов (форма, ориентированность и частота расположения). Всего было выделено 5 районов.

При картировании бугров пучения — булгунных были использованы топографические карты масштаба 1:200 000. Всего на территории улуса расположено около 200 булгунных высотой более 3 м. Наибольшее количество бугров пучения распространено в Тюнгиюлюнском аласном районе, в центральной и северной части Мегино-Кангаласского улуса. Отдельно выделяется район вдоль р. Суола, где расположены крупные булгунных, например, один из самых крупных булгунных Центральной Якутии — Хара Булгунных возле с. Хоробут высотой около 12 м.

**Заключение.** Составленные карты аласов и аласности позволяют анализировать основные закономерности пространственного распространения аласов, их формы и дают количественные данные по площади. Установлено, что аласами занято 7,04 % территории улуса. Основная часть аласов и булгунных сосредоточена в центральной и северной части. Там же расположены крупные аласы, площадь которых достигает свыше 40 км<sup>2</sup>. Таким образом, использование геоинформационных технологий позволяет существенно расширить возможности комплексного изучения природной среды и управления их компонентами. Данные, полученные в ходе анализа, могут быть использованы в научной и организационно-хозяйственной деятельности человека.

#### Библиографический список

1. Андреева А. Н. и др. Атлас Мегино-Кангаласского улуса (района) Республики Саха (Якутия) / Кривошапкина О. М. (ред.). — Якутск, 2013. — 92 с.; ил. карт.
2. Босиков Н. П. Аласность Центральной Якутии // Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1978. — С. 113—118.
3. Саввинов Д. Д. Почвы Якутии: Проблемы рационального использования почвенных ресурсов / Д. Д. Саввинов. — Якутск: Кн. изд-во, 1989. — 152 с.
4. Саввинов Д. Д., Миронова С. И., Босиков Н. П. и др. Аласные экосистемы: структура, функционирование, динамика. — Новосибирск: Наука, 2005. — 264 с.
5. Соловьев П. А. Путеводитель. Аласный термокарстовый рельеф Центральной Якутии // II Международная конференция по мерзлотоведению. — Якутск, 1973. — 47 с.

## SPATIAL ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF ALASES OF CENTRAL YAKUTIA APPLYING GIS TECHNOLOGIES

**Ya. I. Torgovkin**, Ph. D. (Geography), Head of Geoinformatics Group, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), [torgovkin@mpi.ysn.ru](mailto:torgovkin@mpi.ysn.ru), Yakutsk, Russia,

**A. A. Shestakova**, Ph. D. (Geography), Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), [aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru), Yakutsk, Russia,

**A. I. Vasiliev**, Junior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), [vasilai@mpi.ysn.ru](mailto:vasilai@mpi.ysn.ru), Yakutsk, Russia

#### References

1. Andreeva A. N. et al. Atlas Megino-Kangalasskogo ulusa (rajona) Respubliki Saha (Yakutiya). [Atlas of Megino-Kangalassky ulus (district) of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Yakutsk, 2013. P. 92. il. kart. [in Russian]
2. Bosikov N. P. Geokriologicheskie usloviya v gorah i na ravninah Azii. [Geocryological conditions in the mountains and plains of Asia]. Yakutsk, Izd-vo IMZ SO RAN. 1978. P. 113—118. [in Russian]
3. Savvinov D. D. Pochvy Yakutii: Problemy racionalnogo ispolzovaniya pochvennyh resursov. [Soils of Yakutia: The issues of rational use of soil resources]. Yakutsk, Kn. izd-vo, 1989. P. 152. [in Russian]
4. Savvinov D. D., Mironova S. I., Bosikov N. P. et al. Alasnye ekosistemy: struktura, funkcionirovanie, dinamika. [Alas ecosystems: structure, functioning, dynamics]. Novosibirsk, Nauka. 2005. P. 264. [in Russian]
5. Solov'ev P. A. II Mezhdunarodnaya konferentsiya po merzlotovedeniyu [The Second International Conference on the Permafrost. Abstracts]. Yakutsk. 1973. 47 p. [in Russian]



## КРИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

П. В. Ефремов, научный сотрудник,  
Институт мерзлотоведения СО РАН  
им. акад. П. И. Мельникова,  
pvefremov@mpi.usn.ru, Якутск, Россия

За последние 30 лет в Центральной Якутии ухудшилось криоэкологическое состояние пахотных земель. По данным исследований, 45 % пашен, освоенных 50—60 лет назад путем вырубki леса, пришли в негодность из-за активизации процессов термокарста. В критическом состоянии находятся сотни тысяч гектаров агроземель. Это наносит огромный экономический и экологический ущерб региону. Основная цель работы — выявление влияния современного потепления климата на развитие термокарста на пашнях. В статье использованы материалы криоэкологического мониторинга пахотных земель, проводимого Институтом мерзлотоведения в таежной зоне Центральной Якутии. В 1992—2017 гг. были выполнены комплексные исследования динамики гидротермического режима почвогрунтов, мощности сезонного протаивания, развития криогенных процессов и явлений. Потепление климата в 1986—1989 гг. стало причиной для развития термокарста на пашне. В 2005—2008 гг. большая высота снега в зимний период и повышение температуры воздуха в летнее время повлияло на увеличение сезонного слоя почвогрунтов и на дальнейшее развитие термокарста на полигоне. Это привело к необратимой деградации многих пахотных земель в Центральной Якутии.

In Central Yakutia, the cryoecological state of croplands has significantly deteriorated during the recent 30 years. It is reported that 45 % of the croplands created by forest clearing over the last 50—60 years have become worthless due to enhanced thermokarst activity. Hundreds of thousands of hectares are in a critical state. This causes large ecological and economic losses in the region. The purpose of the study is to examine the effects of climate warming on thermokarst development in the croplands using the data from cryoecological monitoring conducted by the Melnikov Permafrost Institute in the Central Yakutian taiga zone. During the period from 1992 to 2017, integrated investigations were conducted to study the changes in the soil hydrothermal regime and active layer thickness, as well as the development of cryogenic processes and phenomena. Warmer air temperatures in 1986—1989 triggered the development of thermokarst in the ploughed fields. Deeper winter snow cover and higher summer air temperatures in 2005—2008 caused an increase in the active-layer thickness and further thermokarst expansion. This has resulted in irreversible degradation of farmlands in many areas of Central Yakutia.

**Ключевые слова:** пахотные земли, потепление климата, ледовый комплекс, криогенные процессы, термокарст, температура воздуха.

**Keywords:** croplands, climate warming, ice complex, cryogenic processes, thermokarst, air temperature.

**Введение.** В последние 30 лет в Центральной Якутии ухудшилось криоэкологическое состояние используемых пахотных земель. По данным исследований, 45 % пашен, освоенных 50—60 лет назад путем вырубki леса, пришли в негодность из-за активизации процессов термокарста и термоэрозии. В критическом состоянии находятся сотни тысяч гектаров агроземель. Это наносит огромный экономический и экологический ущерб региону. Основная цель работы — выявление влияния современного потепления климата на развитие термокарста на пахотных землях. В статье использованы материалы криоэкологического мониторинга пахотных земель, проводимых в таежной зоне Центральной Якутии на правом берегу р. Лена. Основным из мониторинговых полигонов является залежь (заброшенная пашня) Дыргыгабай общей площадью 157 га. В настоящее время она используется как пастбище для скота.

**Методика.** В 1992—2017 гг. были выполнены комплексные исследования динамики гидротермического режима почвогрунтов, мощности сезонного протаивания, развития криогенных процессов и явлений. Круглогодичные наблюдения за температурой грунтов деятельного слоя на полигоне Дыргыгабай стали более детально проводить с 1998 г. До этого температуру измеряли только в теплое время. В настоящее время измерения проводятся по 6 термометрическим установкам, установленным на глубинах от 2,0 до 10 м, 1 логгеру TR-52 на глубине 1,6 м (в лиственный лесу), находящимся на различных участках полигона. При этом были использованы методики, принятые в мерзлотоведении, географии, экологии. Они подробно изложены в следующей работе [1].

**Результаты и обсуждение.** На начальном этапе исследования бурением скважин по всей пашне были обнаружены повторно-жильные льды (ПЖЛ). Зондировочные скважины, пробуренные до глубины 15 м, не смогли вскрыть нижнюю границу залегания жильных льдов. По данным бурения и по глубине близко находящихся котловин аласов Чюйя, Майя, Абалах вероятно, что мощность ПЖЛ достигает 15—25 м. Ширина верхнего среза ПЖЛ варьирует от 0,8 до 3,0 м. Размеры полигональных решеток — 6—6,5 м. Глубина залегания льдов составляла в среднем на пашне

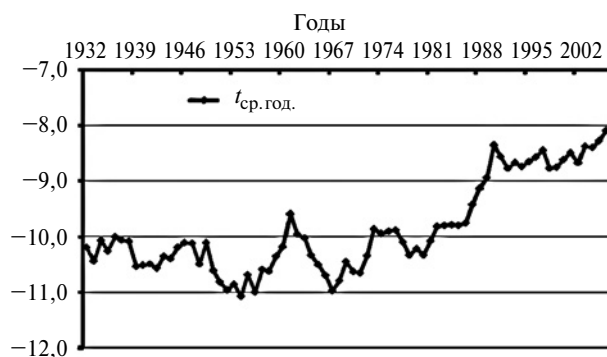


Рис. Динамика среднегодовой температуры воздуха гидрологического года (октябрь—сентябрь) по данным метеостанции Якутск, 1932—2006 гг.

1,8—2,2 м. Многолетнемерзлые отложения характеризуются высокой объемной льдистостью 0,4—0,7 с учетом мощных ПЖЛ.

В 1992 г. на самой пашне отмечалась весьма слабая степень деформации. Имелись несколько небольших термопросадков. Но зачастую при бурении скважин и проходке шурфов встречались подземные пустоты на глубине от 0,4 до 0,8 м. Начиная с 1993 г. криоэкологическая обстановка резко изменилась. Были выявлены и обследованы многочисленные новые проявления морозобойных трещин, термопросадков, провалов по всей пашне. Что же стало причиной для бурного развития термокарста на пашне?

На рисунке приведены данные среднегодовой температуры воздуха гидрологического года (с октября по сентябрь месяц следующего года) с 1932 по 2006 г. Из графика видно, что было незначительное потепление климата в 1960-х годах. С 1973 по 1976 г. также было незначительное потепление со среднегодовой температурой воздуха  $-9,9^{\circ}\text{C}$ . Все это чередовалось с похолоданием климата. С 1982 г. в течение 5 лет стояла одинаковая среднегодовая температура ( $-9,8^{\circ}\text{C}$ ). С 1987 г. климат начал резко теплеть. В 1989 г. среднегодовая температура составила  $-8,4^{\circ}\text{C}$ . По сравне-

нию с 1986 г. потеплела на  $1,4^{\circ}\text{C}$ . В последующие годы были небольшие похолодания до  $-8,8^{\circ}\text{C}$ . Но видно, что идет дальнейшее потепление климата. Резкое потепление климата с середины 1980-х годов повлияло на бурное развитие термокарста на пашне.

В 1994 г. на площадке 2 образовалось небольшое проседание поверхности пашни размером  $4 \times 5$  м, глубиной до 0,4 м. В последующие годы оно прогрессировало и в данное время превратилось в западинно-бугристое микропонижение длиной 95 м, шириной от 30 до 49 м и максимальной глубиной от края пашни 1,88 м. С 1999 г. на участке размером  $20 \times 20$  м производилось измерение поверхности нивелиром. За шесть лет максимальная усадка межполигональной ложбины увеличилась от 1,54 до 1,88 м. Местами днище опустилось до 0,5 м. Полигональные бугры постепенно разрушаются накапливаемой талой и дождевой водой.

В последние 35 лет в Центральной Якутии наблюдается заметное повышение среднегодовой температуры воздуха, обусловленное в основном потеплением зимних периодов. По данным Скачкова Ю. Б., с 1992 по 2012 г. (за 20 лет) было 14 теплых, 4 аномально теплых и только 2 зимы в норме [2, с. 204]. И ни одной холодной и аномально холодной зим. По данным логгера начиная с зимы 2003 до 2007 г. минимальная температура грунта повысилась с  $-8,6$  до  $-4,0^{\circ}\text{C}$ . Но в следующем году температура грунта стала понижаться, хотя зимний сезон 2007—2008 гг. считается аномально теплым и многоснежным. В этом сезоне почти до марта было мало снега. Только в марте выпала четырехмесячная норма осадков.

В западинном микропонижении влажность почвогрунтов сезонно-талого слоя (СТС) в последние годы не опускалась ниже 25 % от веса. На полигональном бугре до 2004 г. мощность СТС доходила до 3,20—3,30 м. В марте 2006 г. при бурении 10-метровой скважины обнаружили, что верхняя кромка многолетней мерзлоты опусти-

### Пораженность криогенными процессами и преобразование поверхности полигона Дыргыбай, 1994—2017 гг.

Глубина просадок, м	Степень пораженности агроландшафта	Состояние преобразованного агроландшафта	1994 г.	2007 г.	2017 г.
			% от площади		
< 0,1	Очень слабая	Удовлетворительное	98,1	2,9	—
0,1—0,3	Слабая	Напряженное	1,5	3,5	1,1
0,3—0,5	Средняя	Критическое	0,4	72,5	60,3
0,5—0,7	Сильная	Кризисное	—	16,2	28,5
0,7—1,0	Очень сильная	Бедственное	—	4,9	11,1

лась до 5 м. Мощность СТС увеличилась до 4,5–5,0 м. Летом температура грунта на глубине 3,2 м доходила до 1,7–2,3 °С, зимой не опускалась ниже –0,3–0,4 °С. В зимнее время накопление снега происходит неравномерно по площади полигона, влияя на температуру почвогрунтов агроландшафта. Большая мощность снежного покрова в начале зим 2005–2006 и 2006–2007 гг., высокая предзимняя влажность, теплые зимы вызвали замедленное промерзание СТС и сокращение периода охлаждения грунтовой толщи. Это также повлияло на дальнейшее развитие термокарста.

По классификации профессора П. П. Гаврильева по степени пораженности криогенными процессами и явлениями была сделана оценка состояния полигона по годам [1, с. 156]. С каждым годом состояние и устойчивость залежи ухудшается. В 2007 г. по сравнению с 1994 г. доля площади критического преобразования увеличилась от 0,4 до 72,7 % (таблица). Доля площади кризисного состояния выросла на 16,2 %, а доля бедственного — на 4,9 %. В 2017 г. по сравнению с 2007 г. состояние агроландшафта еще ухудши-

лось. Доля площади бедственного состояния выросла на 6,2 %, а кризисного — на 12,3 %. Доля площади удовлетворительного состояния совсем исчезла.

**Заключение.** Повышение температуры воздуха совместно с теплыми зимами с середины 1980-х годов привело к развитию термокарста в начале 1990-х годов на полигоне Дыргыбабай. Раннее или позднее образование устойчивого снежного покрова значительно влияет на температуру грунтов деятельного слоя. Высокая предзимняя влажность совместно с теплыми зимами приводят к замедленному промерзанию СТС и сокращению периода охлаждения грунтовой толщи.

Современное потепление климата вызвало дальнейшее развитие термокарстовых образований на полигоне Дыргыбабай. В данное время на нем преобладает критическое состояние поверхности. В последние годы дуюеда, находящаяся в восточной части полигона, полноводна независимо от погодных условий. Все это говорит о том, что продолжается деградация многолетнемерзлых пород пахотных земель.

#### Библиографический список

1. Гаврильев П. П., Угаров И. С., Ефремов П. В. Мерзлотно-экологические особенности таежных агроландшафтов Центральной Якутии. — Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2001. — 196 с.
2. Скачков Ю. Б. Роль аномальных зим в межгодовой изменчивости термического режима многолетнемерзлых пород Центральной Якутии // Десятое сибирское совещание по климатологическому мониторингу: Материалы докладов / Под. ред. М. В. Кабанова. — Томск, 2013. — С. 200–208.

---

## CRYOECOLOGICAL MONITORING OF CROPLANDS IN CENTRAL YAKUTIA

**P. V. Efremov**, Research Scientist, Melnikov Permafrost Institute, pvefremov@mpi.ysn.ru, Yakutsk, Russia

#### References

1. Gavriliev P. P., Ugarov I. S., Efremov P. V. Merzlotno-jekologicheskie osobennosti tajozhnyh agrolandschaftov Central'noj Jakutii [Ecology of permafrost terrain in taiga agrolandscapes in Central Yakutia]. Yakutsk, Permafrost Institute, SB RAS Press, 2001. 196 p. [in Russian]
2. Skachkov Y. B. Rol' anomal'nyh zim v mezhgodovoj izmenchivosti termicheskogo pezhima mnogoletnemerzlyh porod Central'noj Jakutii. *Desjatoe sibirskoe soveshhanie po klimato-jekologicheskomu monitoringu: materialy dokladov. Pod red. M. V. Kabanova* [The role of anomalous winters in interannual variability of the permafrost thermal regime in Central Yakutia. *Tenth Siberian Workshop on Climate-Ecological Monitoring: Proceedings, edited by M. V. Kabanov*]. Tomsk, 2013. P. 200–208. [in Russian]



## О ВОЗМОЖНОМ ИЗМЕНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО БАЛАНСА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ Г. КРАСНОЯРСКА И Г. ОМСКА

**В. А. Фадеев**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»,  
*fadeevwa@yandex.ru*,

**Б. И. Кочуров**, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН,  
*camertonmagazin@mail.ru*,

**И. К. Ермолаев**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт ядерной физики МГУ им. М. В. Ломоносова,  
*ermolaev19@yandex.ru*,

**В. А. Лобковский**, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт географии РАН, *v.a.lobkovskiy@igras.ru*,  
г. Москва, Россия

Рассмотрены возможные способы улучшения экологической обстановки в г. Красноярске и его окрестностях путем создания направленных потоков воздуха, дующих вдоль р. Енисей. Обосновывается необходимость изменения схемы движения воздушных потоков в городе Красноярске. Представлены возможные пути частичного изменения направления воздушных потоков, дующих над водохранилищем Красноярской ГЭС, с помощью: направленных, раздвижных экранов, установленных над плотиной; террасных насаждений деревьев вдоль берегов р. Енисей; расположенных недалеко от города устройств, создающих искусственно направленные воздушные потоки, подсос и движение воздушных масс вдоль реки Енисей.

Улучшение экологической обстановки в городе Омск представляется возможным, прежде всего, за счет снижения числа неблагоприятных метеорологических явлений, связанных с появлением в последние годы в зимний период полыньи на реке Иртыш. Обсуждаются возможные способы уменьшения размера полыньи на реке Иртыш и снижения туманов над окрестностями города Омска.

Possible ways to improve the environmental situation in Krasnoyarsk and its neighbourhood by creating directed air flows blowing along the Yenisei River are considered. The paper proves the necessity of change of the air movement scheme in the city of Krasnoyarsk. The ways of partial change of the direction of the air streams blowing over the reservoir of the Krasnoyarsk HPP by means of: the directed, sliding screens established over a dam are presented; terrace tree plantings along the coast of the Yenisei River; the devices located near the city creating artificially directed air streams, a suction and movement of air masses along the Yenisei River.

The improvement of the ecological situation in the city of Omsk is obviously possible, first of all, due to the decrease in the number of the adverse meteorological phenomena connected with the emergence of an ice-hole (polynya) on the Irtysh River in recent years during the winter period. The possible ways to reduce the hole in the ice on the river Irtysh and lower mists over the neighbouring area of the city of Omsk are discussed.

**Ключевые слова:** экологическая обстановка, направленные воздушные потоки, незамерзающая река, город Красноярск, город Омск.

**Keywords:** ecological situation, directed air streams, ice-free river, the city of Krasnoyarsk, the city of Omsk.

**Введение.** Экологическую ситуацию в городах определяет целый ряд факторов. В частности, для г. Красноярска характерны загрязнение атмосферного воздуха (промышленные предприятия, объекты теплоэнергетики и автомобильный транспорт), загрязнение водных источников (недостаточное функционирование ливневой канализации, отсутствие резервных мощностей для очистки сточных вод и обеззараживания очищенных вод, сбрасываемых в Енисей), преимущественное захоронение отходов производства и потребления без сортировки и переработки и возникновение стихийных свалок; увеличение в последние годы продолжительности периодов неблагоприятных метеорологических условий.

Загрязнение воздуха в г. Красноярске сочетается с повышенной влажностью из-за частых туманов и смога над городом после строительства Красноярской ГЭС [1]. Несмотря на то что к середине дня, когда начинается движение воздуха вдоль реки Енисей, туман постепенно рассеивается, его образование ухудшает экологическую ситуацию в городе, способствуя более быстрому проникновению загрязняющих веществ в дыхательную систему населения города.

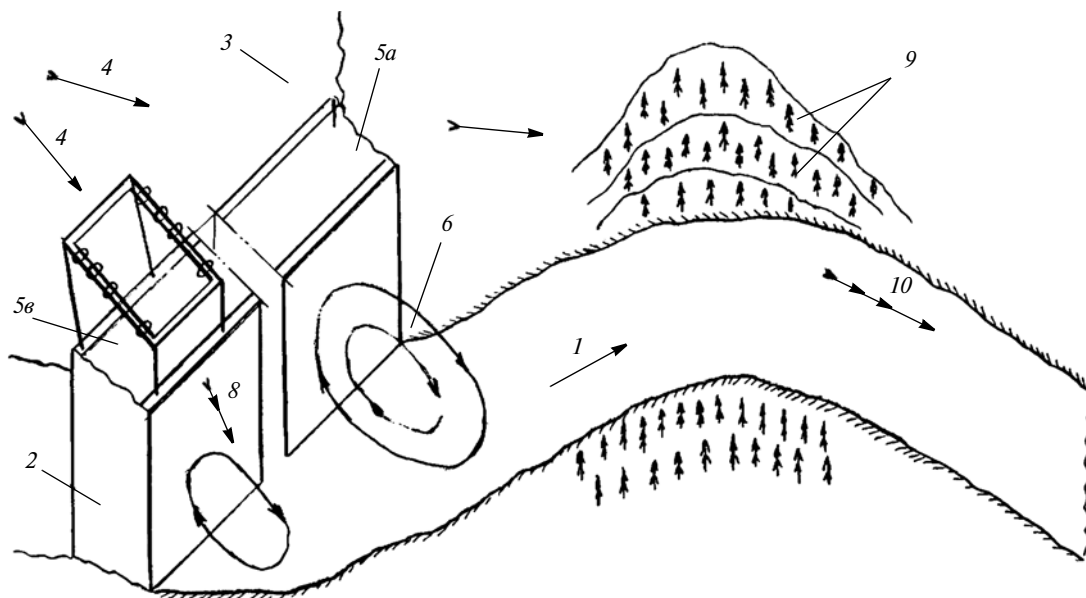


Рис. 1. Схема движения воздушных потоков за Красноярской ГЭС:

Условные обозначения: 1 — река Енисей; 2 — плотина ГЭС; 3 — водохранилище; 4 — ветер над водохранилищем; 5 — верхний бьеф плотины: современный вид (5а); с направляющими экранами (5б); 6 — застойная зона; 7 — направляющие экраны (стягивающиеся — растягивающиеся); 8 — ветер после направляющих экранов; 9 — лесополосы по берегам реки; 10 — ускоренный поток воздуха

**Проблемы и методы решения.** Усиление движения воздуха в атмосфере г. Красноярска связано с его поступлением со стороны Красноярской ГЭС. Высота плотины Красноярской ГЭС — 124 м, длина поверху — 1065 м, максимальная глубина воды в водохранилище — 105 м [2]. Верхний бьеф плотины расположен на высоте — 243 м над уровнем моря, а нижний бьеф — на высоте 141,7÷152,5 м над уровнем моря. Сам город Красноярск находится на высоте 140 м над уровнем моря. Перепад высот от нижнего створа плотины до города Красноярск — 1,7÷12,2 м при расстоянии до города по прямой 31 км, по реке Енисей — 48,8 км.

Ветер (воздушный поток), двигающийся по Красноярскому водохранилищу, за ГЭС не сразу опускается к руслу р. Енисей. Внизу, за плотинной, возникает застойная зона закрученного воздуха. Ветер проходит над рекой, ударяется о левобережные скалы на расстоянии ~7÷8 км от ГЭС, где река Енисей делает поворот, изменяет направление и движется вниз над руслом реки. Из-за естественной преграды происходит поворот движущейся воздушной массы, снижение ее скорости, а небольшой перепад высот до города 1,7÷12,5 м не способствует значительному увеличению скорости ветра (рис. 1).

По данным метеонаблюдений по временам года средняя скорость ветра на высоте 10 м не превышает 1,4 м/с (г. Дивногорск) и 2,1 м/с (г. Красноярск) (табл. 1).

Максимальная скорость ветра была зафиксирована в городе Дивногорске — 21 м/с; а в г. Красноярске — 24 м/с. Основное направление ветра в черте города Красноярск — юго-западное. Рассеивание тумана или смога в черте города будет происходить при увеличении скорости движения воздушных масс (ветра) при подходе к городу, в самом городе и вдоль реки Енисей.

При этих условиях предлагается следующее.

1. Для увеличения скорости движения воздушных масс вдоль реки Енисей часть воздуха над плотинной необходимо направить вниз с помощью ряда направляющих, растягивающихся — собирающихся экранов (типа штор) над всей шириной и по всей длине плотины (рис. 2).

Экраны устанавливаются над верхним бьефом плотины на высоте 15—25 м под углом ~30÷45°, длиной 25—35 м и шириной, равной ширине плотины (рис. 2). Экраны могут быть изогнутыми с

Таблица 1

Средняя скорость ветра на высоте 10 м в районе г. Дивногорска и г. Красноярск по временам года

Скорость ветра, м/с, в городах	Средняя на высоте 10 м	Зима	Весна	Лето	Осень
Дивногорск	1,4	1,7	1,5	0,9	1,4
Красноярск	2,1	1,8	2,4	1,9	2,2

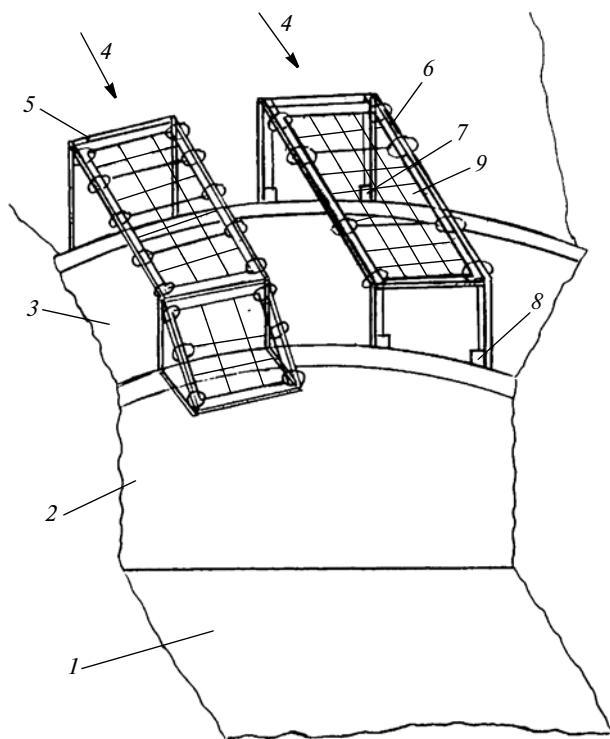


Рис. 2. Схема расположения направляющих экранов на верхнем бьефе плотины.

Условные обозначения: 1 — русло реки; 2 — плотина ГЭС; 3 — верхний бьеф плотины; 4 — ветер над водохранилищем; 5 — изогнутый экран; 6 — плоский наклонный экран; 7, 8 — устройства растягивающие и убирающие покрытия направляющих экранов; 9 — покрытие экранов

углом при вершине  $120 \div 150^\circ$ . Большая парусность экранов будет давать серьезные нагрузки на каркасные сооружения. Материалом для экранов может служить водонепроницаемая, плотная армированная ткань. Она легко разворачивается и складывается при движении по направляющим каркаса экрана. Часть воздуха (ветра), движущегося вдоль водохранилища, у плотины, натекая на направляющие экраны, будет опускаться сверху вниз. Она может разрушить застойную зону, обеспечит подсос вышележащих верхних слоев и создаст условия для увеличения скорости движения воздушных масс вниз, вдоль русла реки.

При движении воздушных масс сверху вниз к руслу реки могут понизиться турбулентные завихрения и уменьшится их сопротивление. Так как перепад высот от нижнего бьефа плотины до г. Красноярска небольшой —  $1,7 \div 12,2$  м, приток дополнительно движущегося сверху воздуха повысит скорость движения воздушных масс (скорость ветра) вниз вдоль русла реки.

На расстоянии около 7 км от Красноярской ГЭС река Енисей делает изгиб, что приводит к

потерям скорости воздушных масс (ветра), движущихся над поверхностью реки.

2. Для снижения потерь скорости воздушного потока, движущегося вдоль реки, желательно сделать по берегам плавные закругления из посаженных деревьев (ель, пихта и др.) — террасами по левому и правому берегам реки Енисей. Деревья необходимо сажать за 500—600 м до начала поворота и на такое же расстояние после поворота, вверх по склонам, начиная с уровня максимального подъема воды при паводке. Высота посадок террасами должна быть не менее  $200 \div 300$  м над уровнем поверхности воды. Деревья позволят уменьшить потери скорости воздушного потока, движущегося над рекой. Можно также устанавливать многоуровневые закругленные экраны вдоль берегов реки, но это может нарушить эстетическую привлекательность территории.

Воздушные массы, плавно повернув, устремятся к городу, вдоль водной поверхности р. Енисей, ширина которого колеблется от 500 до 700 м.

Сужение берегов реки приводит к ускорению движущихся воздушных масс вниз по течению реки Енисей. Вниз по течению по берегам реки в узких местах желательно сделать многоярусные посадки на участках длиной 200—500 м и по высоте — 200—400 м, что будет способствовать увеличению скорости движения воздушных масс (скорости ветра).

3. Для снижения тумана и смога в г. Красноярске необходимо ускорить движение воздуха вдоль р. Енисей, создавая искусственные воздушные потоки до города. Чтобы заставить интенсивнее двигаться воздушные массы, можно на расстоянии 5—10 км от города вверх по реке установить поперек реки на самоходных баржах через каждые 50—75 м параллельно друг другу списанные турбо-реактивные авиационные двигатели, периодически включая их (рис. 3). Струя, вытекающая из сопла диаметром  $\sim 0,9$  м со скоростью  $\sim 600$  м/с, может распространяться на  $10 \div 35$  км [3]. На начальном участке струя имеет вид полусферы, достигая максимальной ширины  $25 \div 44$  м на расстоянии  $\sim 10$  км. Струя истекающих газов подсасывает часть воздуха с туманом, интенсивно перемешиваясь с ними, и уносит его все дальше вниз по течению реки за город.

Можно располагать двигатели горизонтально на берегу реки друг за другом на расстоянии 50—100 м один от другого вниз по течению под углом —  $10 \div 15^\circ$  к оси реки. Двигатели ставить по обоим берегам реки (рис. 3). Вместо двигателей можно располагать мощные вентиляторы на обоих берегах реки на высоте выше максимального

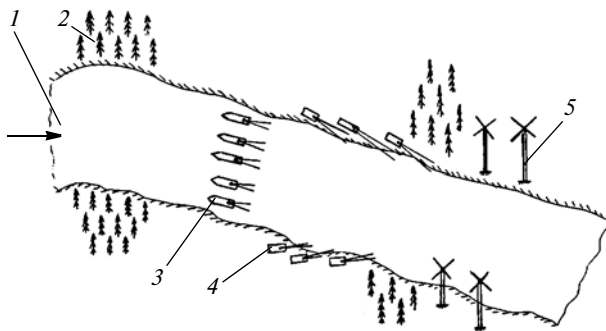


Рис. 3. Схема расположения устройств по созданию искусственных воздушных потоков вдоль реки Енисей.

Условные обозначения: 1 — река Енисей; 2 — лесные полосы; 3 — двигатели, установленные на баржах; 4 — двигатели, установленные на берегу реки; 5 — вентиляционные установки

паводкового уровня воды под углом  $10 \div 15^\circ$  к оси реки и наклоном  $5-10^\circ$  к горизонту (водной поверхности). Длина лопастей у вентиляторов должна быть от 5 до 15 м. Вентиляторы желательно располагать ближе к городу. Можно вместо вентиляторов использовать списанные турбо-винтовые авиационные двигатели, периодически включая их.

4. Высокая турбулентность воды после нижнего бьефа Красноярской ГЭС приводит к интенсивному смешиванию теплой воды из нижнего забора с холодными водами, что влечет за собой увеличение испарения, появления тумана над рекой при низкой скорости течения, образование полыньи, незамерзающей зимой, вдоль русла реки Енисей [4]. Все это отрицательно сказывается на экологической ситуации в городе.

Для снижения испарения и уменьшения интенсивности перемешивания необходимо снизить завихрения потоков движущейся воды вдоль русла реки, стабилизировать течение, разбив поток на струи с помощью нескольких рядов успокоителей. Успокоители должны уменьшить турбулентность движущегося потока воды и ламинизировать течение. Успокоители могут быть в виде сетчатого ограждения (сетчатых коробов рамного типа) с размером ячеек  $40 \times 40 \text{ см}^2$ . Материалом могут служить капроновые веревки. Успокоители устанавливаются поперек русла реки с обоих берегов до барж, расположенных на середине реки, оставляя открытым фарватер для прохождения судов. В зимнее время успокоители можно устанавливать поперек реки. Вниз по течению реки до города должно быть установлено несколько рядов успокоителей.

5. В последние годы причиной утренних туманов и повышенной влажности зимой в городе Омске

стала полынья на реке Иртыш длиной примерно 300 м в районе Ленинградского моста через реку, происхождение которой достоверно не установлено [5]. Проведенные проверки Минприроды правительства Омской области установили, что образование полыньи не связано с влиянием сбросов химических загрязнений, мешающих образованию льда за мостом или с превышением ПДК загрязняющих веществ в реке, в том числе и в самой полынье. Также было исключено влияние промышленных стоков из известных водовыпускных коллекторов на реку Иртыш выше полыньи. Основной версией образования полыньи считаются сложные гидрологические процессы на реке, по принципу турбулентности создающие завихрения водных потоков реки Иртыш вокруг столбов Ленинградского моста (длина моста 653 м, число пролетов 8, ширина реки около 600 м при глубине 6—15 м).

Представляется, что завихрения воды в реке связаны не только со стоящими опорами моста, но и с изменением дна реки после взятия гальки со дна реки Иртыш на нужды города. Одновременно снизился и уровень воды в реке Иртыш, так как часть воды стала уходить сквозь земляное дно вниз. Увеличился размыв дна, повысились завихрения нижних водяных потоков в воронках и увеличилось замутнение воды. Все это снижает возможность замерзания полыньи.

По нашему мнению, необходимо засыпать дно р. Иртыша за мостом, где располагается полынья, галькой или дробленным камнем. Каменное дно снизит размыв грунта, уменьшит просачивание воды вниз и частично выровняет дно реки. Также это позволит уменьшить завихрения нижних водных слоев и подъем замутненных слоев воды к поверхности реки, снизит турбулентность восходящих со дна водяных потоков и стабилизирует течение в русле реки.

Также за опорами моста в реке рекомендуется установить устройства, снижающие завихрения за опорами и стабилизирующие течение, в виде направляющих, подводных экранов, рамных каркасных устройств с крупными ячейками размером не менее  $40 \times 40 \text{ см}^2$  из капроновых веревок рядами друг за другом поперек течения с расстоянием между рядами  $50 \div 70 \text{ м}$  и т. п.

**Выводы.** Проведенные предварительные расчеты показывают, что предложенные меры позволят улучшить экологическую ситуацию в городах Красноярске и Омске. В рамках дальнейших работ необходимо провести более глубокие расчеты, включая моделирование, подтверждающие эффективность предложенных мер.

## Библиографический список

1. Крупко Т. Экология в Красноярске: выбираем безопасный район // Сибирский дом, № 6 (148), 2016. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.sibdom.ru/journal/1604/>
2. Вышегородцев А. А., Косманов И. В., Ануфриева Т. Н., Кузнецова О. А. «Красноярское водохранилище». Новосибирск: Наука, 2005. 212 с.
3. Fadeev V. A., Sharapov V. I. Математическое моделирование и экспериментальная отработка методов снижения загазованности приземного слоя атмосферы в районе аэропорта // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2012. — № 7. — С. 20—24. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/569142>
4. Михайлов В. И., Добровольский А. Д., Добролюбов С. А. Гидрология. Учебник для вузов. — 2-е изд. исп. — М.: Высшая школа, 2007. — 463 с. — ISBN 978-5-06-005815-4.
5. Пантелеев А. Аномальная полынья в центре г. Омска // Информагентство «Омск Регион». 7 февраля 2018 г.

---

## ON THE POSSIBLE CHANGE IN THE DYNAMIC BALANCE OF THE ENVIRONMENT TO IMPROVE THE ECOLOGICAL SITUATION IN THE KRASNOYARSK AND OMSK REGIONS

**V. A. Fadeev**, Ph. D. (Engineering), Senior Researcher, Federal State Unitary Enterprise “State Research Institute of Aviation Systems”, [fadeevwa@yandex.ru](mailto:fadeevwa@yandex.ru),

**B. I. Kochurov**, Ph. D. (Geography), Dr. Habil., Professor, Institute of Geography of the RAS, [camertonmagazin@mail.ru](mailto:camertonmagazin@mail.ru),

**I. K. Ermolaev**, Ph. D. (Engineering), Senior Researcher, Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, [ermolaev19@yandex.ru](mailto:ermolaev19@yandex.ru),

**V. A. Lobkovsky**, Ph. D. (Geography), Researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, [v.a.lobkovskiy@igras.ru](mailto:v.a.lobkovskiy@igras.ru)

## References

1. Krupko T. Ekologiya v Krasnoyarske: vybiraem bezopasnyj rajon // Sibirskij dom, № 6 (148), 2016. [Ecology in Krasnoyarsk: we choose the safe area. Ecology in Krasnoyarsk. *The Siberian house*, No. 6 (148), 2016]. [Electronic resource]. Access mode: <http://greenpatrol.ru/ru/regiony/respublika-bashkortostan>. 12.04.2018. [in Russian]
2. Vyshegorodtsev A. A., Kosmanov I. V., Anufrieva T. N., Kuznetsova O. A. “Krasnoyarskoe vodohranilishche”. [“The Krasnoyarsk reservoir”]. Novosibirsk, Nauka. 2005. 212 p.] [in Russian]
3. Fadeev V. A., Sharapov V. I. Matematicheskoe modelirovanie i ehksperimental'naya otrabotka metodov snizheniya zagazovannosti prizemnogo sloya atmosfery v rajone aehroporta. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij* [Mathematical modeling and experimental working off of methods of decrease in gas contamination of a ground layer of the atmosphere around the airport. *Messenger of computer and information technologies*]. 2012; No. 7; P. 21—26] [Electronic resource]. Access mode: <https://rucont.ru/efd/569142> [in Russian]
4. Mikhailov V. I., Dobrovolskiy A. D., Dobrolyubov S. A. Gidrologiya. Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd. isp. [Hydrology. 2nd ed. improved]. Moscow, Vysshaya Shkola. 2007. 463 p. — ISBN 978-5-06-005815-4] [in Russian]
5. Panteleev A. Anomal'naya polyn'ya v centre g. Omska // Informagenstvo “Omsk Region”. 7 fevralya 2018 g. [Panteleev A. An abnormal ice-hole in the center of Omsk. News agency “Omsk Region”, February 7, 2018] [in Russian]