

Том
Volume

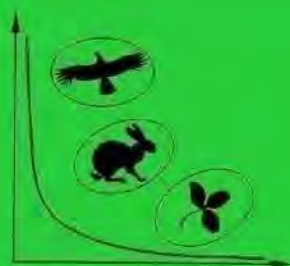
7

Номер
Number

2

Июнь
June

2023



ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**ЭКОСИСТЕМЫ:
ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА
ECOSYSTEMS:
ECOLOGY AND DYNAMICS**

Журнал освещает результаты фундаментальных исследований и прикладных работ по изучению состояния, закономерностей процессов и динамики в природных, антропогенно созданных и/или антропогенно нарушенных экосистемах любого ранга (от биотопа до биосферы), а также в отдельных компонентах этих экосистем (как живых, так и неживых) повсеместно: во всех природных зонах и ландшафтах, на суше и в водной стихии. Статьи соответствующей тематики принимаются по следующим научным направлениям: география, биология, лесное и сельское хозяйство.

The journal highlights the results of fundamental and applied investigations on the study of the state, processes and dynamics in natural, anthropogenic and/or anthropogenically disturbed ecosystems of any scale (beginning from biotope and up to biosphere) as well as in separate components of those ecosystems (alive and lifeless) everywhere: in all natural zones and landscapes, on land and in the water. Papers on the related topics submitted to the journal should be related to the following branches of science: geography, biology, forest and agricultural management.

МОСКВА
MOSCOW

2023

WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS

Vol. 7, No. 2, 2023, June

Journal is founded in January 2017

Issued 4 times per year

Editor-in-Chief, Dr. geogr. Zh.V. Kuzmina

Editorial Council:

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.I. Danilov-Danilyan,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences A.N. Gelfan

Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Kulik,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.V. Melikhov,

Academician of the Russian Academy of Sciences A.S. Rulev

Editorial Board:

M.V. Bolgov, E.I. Golubeva, T.V. Dikariova, N.G. Mazey, N.M. Novikova,
G.N. Ogureeva, E.I. Pankova, S.A. Podolskiy, E.G. Suslova, A.S. Viktorov,
M.F. Vundtsettel, L.G. Yemelyanova

Executive Secretary:

E.I. Tobolova

Head of Editorial Office:

O.S. Grinchenko

Addresses of Editorial Offices:

Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3, WPI RAS

Tel.: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15

E-mail: dynamics-journal@yandex.ru

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

MOSCOW

2023

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА

Том 7, № 2, 2023, июнь

Журнал основан в январе 2017 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

доктор географических наук

Ж.В. Кузьмина

Редакционный совет:

член-корреспондент Российской академии наук А.Н. Гельфан,
член-корреспондент Российской академии наук В.И. Данилов-Данильян,
академик Российской академии наук К.Н. Кулик,
член-корреспондент Российской академии наук В.В. Мелихов,
академик Российской академии наук А.С. Рулев

Редакционная коллегия:

М.В. Болгов, А.С. Викторов, М.Ф. Вундцеттель, Е.И. Голубева, Т.В. Дикарева,
Л.Г. Емельянова, Н.Г. Мазей, Н.М. Новикова, Г.Н. Огуреева, Е.И. Панкова,
С.А. Подольский, Е.Г. Сулова

Ответственный секретарь:

Е.И. Тоболова

Заведующий редакцией:

О.С. Гринченко

Адрес редакции:

Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН

Телефон: (499) 135-70-41. Факс: (499) 135-54-15

E-mail: dynamics-journal@yandex.ru

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

Москва

2023

© Журнал основан в 2017 г.

Учрежден и издается

Институтом водных проблем Российской академии наук.

Журнал как сетевое издание зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций;

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77-68782 от 17.02.2017.

Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN Российской Федерации,

в Национальном информационно-аналитическом центре России – ВИНТИ,

а также в научных электронных библиотеках: РГБ (Российская государственная библиотека, rsl.ru), БЕН РАН (Библиотека по естественным наукам Российской академии наук), НЭБ,

РИНЦ, КИБЕРЛЕНИНКА, Российская книжная палата.

The journal has been founded in 2017.

It was founded and published by the

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.

The Journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (in Roskomnadzor) as a web Media;

Certification Number is ЭЛ № ФС 77-68782 of 17.02.2017.

The Journal is registered in National centre ISSN of Russian Federation,

All-Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI),

and also in scientific electron libraries, such as RSL (Russian State Library, rsl.ru), Library of Natural Sciences of RAS, National Electronic Library, Elibrary, Science Index, CYBERLENINKA,

Russian Book Chamber.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

Information about Journal and Rules for authors are at the site

<http://www.ecosystemsdynamic.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Том 7, номер 2, 2023 июнь

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

- Использование численного эксперимента при изучении миграции различных загрязняющих веществ в подземных водах Калужской области в зоне радиоактивного следа
[на русском; аннотация на русском и английском]
А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко, К.Г. Власов 5-39
- Use of a Numerical Experiment in Studying the Migration of Different Pollutants in the Groundwater of the Kaluga Region in the Area of the Radioactive Trace
[на английском; аннотация на английском и русском]
A.P. Belousova, E.E. Rudenko, K.G. Vlasov 40-72
- Международный опыт сертификации в области устойчивого развития аквакультуры
[на русском; аннотация на русском и английском]
Е.В. Чуприна 73-87
-

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

- Ранние стадии пирогенной сукцессии в пихтовых лесах Южного Прибайкалья (Байкальский заповедник)
[на русском; аннотация на русском и английском]
Н.С. Гамова, Е.А. Фаронова, Ю.Н. Коротков, Т.С. Кошовский, Т.Е. Язрикова 88-112
- Early Stages of a Long-term Post-Fire Vegetation Change in Siberian Fir Forests of Southern Baikal Region (Baikal Nature Reserve)
[на английском; аннотация на английском и русском]
N.S. Gamova, E.A. Faronova, Yu.N. Korotkov, T.S. Koshovskii, T.E. Yazrikova 113-136
- Состояние планктонных и донных сообществ равнинной реки Уса (бассейн Средней Волги, Куйбышевское водохранилище) в условиях климатических изменений
[на русском; аннотация на русском и английском]
Т.Д. Зинченко, Э.В. Абросимова, О.Г. Горохова, Л.В. Головатюк, Р.С. Кузнецова, С.Э. Болотов 137-175
-

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОХРАНА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

- Экологическая опасность проектов Селемджинской и Нижне-Зейской ГЭС
[на русском; аннотация на русском и английском]
С.А. Подольский 176-190
-

ИСТОРИЯ НАУКИ

- Научный и творческий путь Елены Германовны Суловой (17.01.1952-18.04.2023)
[на русском; аннотация на русском и английском]
Т.В. Дикарева 191-249

CONTENTS

Volume 7, Number 2, 2023 June

METHODS FOR STUDY, MAINTENANCE AND PRESERVATION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

- Use of a Numerical Experiment in Studying the Migration of Different Pollutants in the Groundwater of the Kaluga Region in the Area of the Radioactive Trace
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
A.P. Belousova, E.E. Rudenko, K.G. Vlasov 5-39
- Use of a Numerical Experiment in Studying the Migration of Different Pollutants in the Groundwater of the Kaluga Region in the Area of the Radioactive Trace
[in English; Abstract is available in English and Russian]
A.P. Belousova, E.E. Rudenko, K.G. Vlasov 40-72
- International Certification Experience in the Sustainable Development of Aquatic Culture
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
E.V. Chuprina 73-87
-

DYNAMIC OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

- Early Stages of a Long-term Post-Fire Vegetation Change in Siberian Fir Forests of Southern Baikal Region (Baikal Nature Reserve)
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
N.S. Gamova, E.A. Faronova, Yu.N. Korotkov, T.S. Koshovskii, T.E. Yazrikova 88-112
- Early Stages of a Long-term Post-Fire Vegetation Change in Siberian Fir Forests of Southern Baikal Region (Baikal Nature Reserve)
[in English; Abstract is available in English and Russian]
N.S. Gamova, E.A. Faronova, Yu.N. Korotkov, T.S. Koshovskii, T.E. Yazrikova 113-136
- Condition of Plankton and Bottom Communities of the Lowland Usa River (Basin of the Middle Volga River, Kuybyshev Reservoir) under Climate Changes
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
T.D. Zinchenko, E.V. Abrosimova, O.G. Gorokhova, L.V. Golovatyuk, R.S. Kuznetsova, S.E. Bolotov 137-175
-

DISTRIBUTION AND PROTECTION OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

- Environmental Hazard of Selemdzha and Lower Zeya Hydroelectric Power Stations
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
S.A. Podolskiy 176-190
-

HISTORY OF SCIENCE

- Scientific and Creative Path of Elena Germanovna Suslova (17.01.1952-18.04.2023)
[in Russian; Abstract is available in Russian and English]
T.V. Dikareva 191-249

===== **МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ** =====
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 556.383/388:504(571.1)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ
МИГРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ
КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА**

© 2023 г. А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко, К.Г. Власов

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: anabel@iwr.ru, belanna47@mail.ru

Поступила в редакцию 27.02.2023. После доработки 25.05.2023. Принята к публикации 26.05.2023.

Цель статьи – изучение методом математического моделирования процессов миграции различных, от слабо до сильно сорбируемых загрязняющих веществ (ЗВ), включая радионуклиды, из грунтовых в напорные подземные воды через отдельный слой – водоупор различной степени проницаемости. В практике гидрогеологических исследований существует такое направление, как поиски и разведка месторождений подземных вод. Первая стадия – поиск, осуществляется на практически неизученных территориях, а вторая – разведка, ограничивается территориями, где по данным первой стадии выявляют перспективные территории.

Данные исследования можно отнести к первой, поисковой стадии, когда изученность территории в рамках заданной тематики практически отсутствует для выбранной территории Калужской области, пострадавшей от аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС). Поиск был сосредоточен на изучении миграции загрязняющих веществ в грунтовых водах, а из них – через водоупор в напорных водах. Направление поиска определялось способностью водоупоров пропускать через себя ЗВ с одной стороны (самые неблагоприятные для подземных вод условия), а с другой – не пропускать ЗВ (благоприятные условия). В природных и в техногенных условиях оба случая не существуют по отдельности (они сливаются), что требует хорошей геолого-гидрогеологической изученности территории, отсутствующей для изучаемой местности. Наши исследования были проведены по обоим направлениям поисковых исследований, для первого случая водоупор принимался проницаемым, для второго – непроницаемым.

Для каждого типа поисковой стадии были проведены как бы разведочные численно-экспериментальные исследования (численный эксперимент) с применением математического моделирования. Объектом исследований является часть территории Калужской области, наиболее пострадавшая от аварии на ЧАЭС. Исследования по первому направлению были завершены и опубликованы ранее (Белоусова, Руденко, 2021а, б). Результаты второй стадии и обобщающие результаты исследований обоих поисковых направлений приводятся в настоящей статье. На данном этапе продолжается исследование процессов миграции различных ЗВ, включая радионуклиды, из грунтовых вод в напорный водоносный горизонт через непроницаемый водоупор по тем же разрезам, что и для первого направления, но по несколько измененным сценариям и с другим набором коэффициентов распределения сорбции ЗВ (K_d).

Численные эксперименты второго этапа проводилось по следующим сценариям: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). Первая цифра – значение K_d (л/кг) в первом слое, вторая – во втором слое, третья – значение в третьем слое. Такой подбор коэффициентов распределения обусловлен заданием их значений на порядок больше в водоупоре, чем в верхнем и нижнем водоносных горизонтах.

Каждый сценарий проводился для двух условий: с радиоактивным распадом и без распада. За начальные условия была принята степень загрязнения грунтовых вод по аналогии со степенью загрязнения поверхности земли в зоне радиоактивного следа на изучаемой территории, хотя в природных условиях на этой территории в грунтовых водах такого распространения загрязнения ни радионуклидами, ни другими ЗВ не наблюдается.

Концентрации ЗВ могут быть заданы в г/л, ПДК, фоновых концентрациях; в нашем случае использовались ПДК. Коэффициенты распределения сорбции различных ЗВ подбирались из известных значений для территорий Брянской области (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б), для радионуклидов значения K_d в основном относятся к ненасыщенной зоне.

Установлено, что главными факторами формирования процессов миграции ЗВ являются в первую очередь радиоактивный распад ЗВ, во вторую – сорбционные свойства ЗВ, а в третью – гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории и степени проницаемости водоупора. Рассмотренная ситуация свидетельствует о том, что водоупоры не являются полной гарантией, обеспечивающей защищенность напорных подземных вод от загрязнения.

Ключевые слова: грунтовые воды, подземные напорные воды, моделирование процессов миграции, загрязняющее вещество, радионуклиды, сорбция, радиоактивный распад.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-5-39

EDN: IBYXTQ

Объектом исследований являются напорные подземные воды на части территории Калужской области, наиболее пострадавшей от аварии на Чернобыльской атомной станции (ЧАЭС).

Цель работы – изучение методом численного эксперимента процессов миграции различных, от слабо до сильно сорбируемых загрязняющих веществ (ЗВ), включая радионуклиды, в грунтовых и напорных подземных водах в рамках математического моделирования. В процессе работы проведены следующие исследования и получены описываемые ниже результаты.

Численные эксперименты по возможным сценариям загрязнения подземных вод: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100).

Первая цифра – значение K_d (л/кг) в первом слое, вторая – во втором слое, третья – в третьем слое. Такой подбор коэффициентов распределения обусловлен заданием их значений на порядок больше в водоупоре, чем в верхнем и нижнем водоносных горизонтах. Каждый сценарий проводился для двух условий: с радиоактивным распадом и без распада. Моделирование процессов миграции ЗВ по каждому сценарию проводилось с использованием математической модели MT3D (Zheng, Papadopoulos, 1990). Данная модель авторами использовалась при моделировании процессов геофильтрации и миграции загрязняющих веществ на территории Калужской области (Антонов и др., 2013; Белоусова, 2015; Белоусова, Руденко, 2021а).

Для изучения миграции загрязняющих веществ на ранее созданной численной модели MT3D были выбраны два разреза и несколько отдельных точек. Оценивалась экологическая ситуация в грунтовых водах, в водораздельном слое и в напорных подземных водах.

В результате моделирования проведено сравнение всех сценариев развития процессов загрязнения и анализ определяющих их факторов. Выявлено, что главными факторами формирования процессов миграции ЗВ являются в первую очередь радиоактивный распад ЗВ, во вторую – сорбционные свойства ЗВ, а в третью – гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий территории.

Установлено, что для непроницаемого типа водоупоров характерно практически полное отсутствие проникновения загрязненных грунтовых вод в напорный водоносный горизонт, а при проницаемом типе загрязнение проникает в напорные воды. Здесь следует отметить, что в природных условиях как полностью и повсеместно «непроницаемых», так и «проницаемых» водоупоров не существует, а имеет место распространение водоупорных толщ пород сложного литологического строения с техногенными и природными нарушениями.

Результаты научных исследований по данной тематике могут быть использованы при

оценке экологического состояния подземных вод на различных территориях страны в различных масштабах; при проектировании и строительстве водозаборов пресных питьевых подземных вод; при проектировании и организации мониторинга за подземными водами в районах, пострадавших от аварии на ЧАЭС (Данные ..., 2018; Радиационная обстановка ..., 2019).

Моделирование процессов геомиграции загрязняющих веществ

На предыдущем этапе исследований (Белоусова, Руденко, 2020) было показано, что существует опасность загрязнения грунтовых вод радионуклидами за счет их миграции с поверхности земли, загрязненной Чернобыльскими радионуклидами, на данном этапе исследований рассматривается и возможность загрязнения напорных вод от загрязненных грунтовых вод.

Гидрогеологические условия отличаются большим разнообразием водоносных горизонтов – как безнапорных, так и напорных (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б). Безнапорные горизонты включают в себя воды четвертичных (аллювиальных, гляциальных, флювиогляциальных, болотных, пролювиальных горизонтов), меловых и юрских отложений. Все эти горизонты связаны между собой и не имеют выдержанных водоупоров внутри этой толщи (комплекса).

Анализ существующего загрязнения подземных вод на территории Калужской области, проведенный нами на предыдущем этапе, показал наличие химического загрязнения в различных водоносных горизонтах. Загрязнению подвержены горизонты от четвертичного до девонского возраста, практически во всех горизонтах присутствует стабильный стронций, барий, фтор, нитраты, хлориды и сульфаты.

Анализ ЗВ по степени сорбируемости и их классификация были проведены на предыдущем этапе исследований по литературным данным. Как видно из данных анализа, значения K_d многих химических элементов значительно превышают тысячи л/кг (для Ni – 152-5365 л/кг), что зависит от литологического состава водовмещающих пород и от состояния самого элемента. Для оценки защищенности и уязвимости напорных подземных вод от загрязнения, поступающего из грунтовых вод, мы используем упрощенное представление о сорбируемости и выделяем только 2 категории по степени сорбируемости: слабо сорбируемые ($K_d = 0-6$ л/кг) и сильно сорбируемые (K_d от 6 до 1000 л/кг). Далее будут более детально рассмотрены диапазоны изменения K_d .

Следует отметить, что изученность миграции радионуклидов относится в основном к ненасыщенной зоне – почвам и породам зоны аэрации (диапазон изменения K_d изменяется от 1 до более чем 1000 л/кг в зависимости от литологического состав пород), а в подземных водах такие исследования практически не проводились, поскольку считалось, что они защищены от проникновения радионуклидов, хотя в Брянской области они всё же были обнаружены в грунтовых водах (в незначительных количествах).

Таким образом, для моделирования процессов загрязнения грунтовых и напорных подземных вод были выбраны радионуклиды (^{137}Cs и ^{90}Sr) и другие сильно сорбируемые ЗВ, имеющие аналогичный диапазон коэффициентов распределения, а также нейтральные слабо сорбируемые ЗВ (нитраты, сульфаты, хлориды и нефтепродукты).

Для моделирования процесса массопереноса в подземных водах была выбрана модель MT3D, которая работает на основе транспортной модели MODFLOW (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б). Исходное распределение концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах условно принято по аналогии с поверхностным распределением радиоактивного загрязнения в чернобыльском следе на территории Калужской области. Их концентрация может задаваться в г/л, Бк/л, ПДК, фоновых концентрациях; мы

использовали значения ПДК (рис. 1), но следует иметь в виду, что реально такого загрязнения в грунтовых водах в зоне радиоактивного загрязнения на изучаемой территории не наблюдается.

Для изучения миграции загрязняющих веществ на ранее созданной численной модели МТЗД (Антонов и др., 2013) были выбраны два разреза: по линии I-I по направлению с северо-востока на юго-запад и по линии II-II по направлению с юго-запада на юго-восток изучаемой территории по линиям тока подземных вод от водораздела к области разгрузки, т.е. к реке (рис. 2).

Анализ экологической ситуации проводился по различным сценариям для четырех расчетных сроков: 30, 60, 100 и 300 лет (увязка с периодами полураспада радионуклидов и сроком действия водозаборов). Рассматриваются следующие сценарии загрязнения: с радиоактивным распадом для радионуклидов и без распада для других ЗВ, для слабо и сильно сорбируемых веществ.

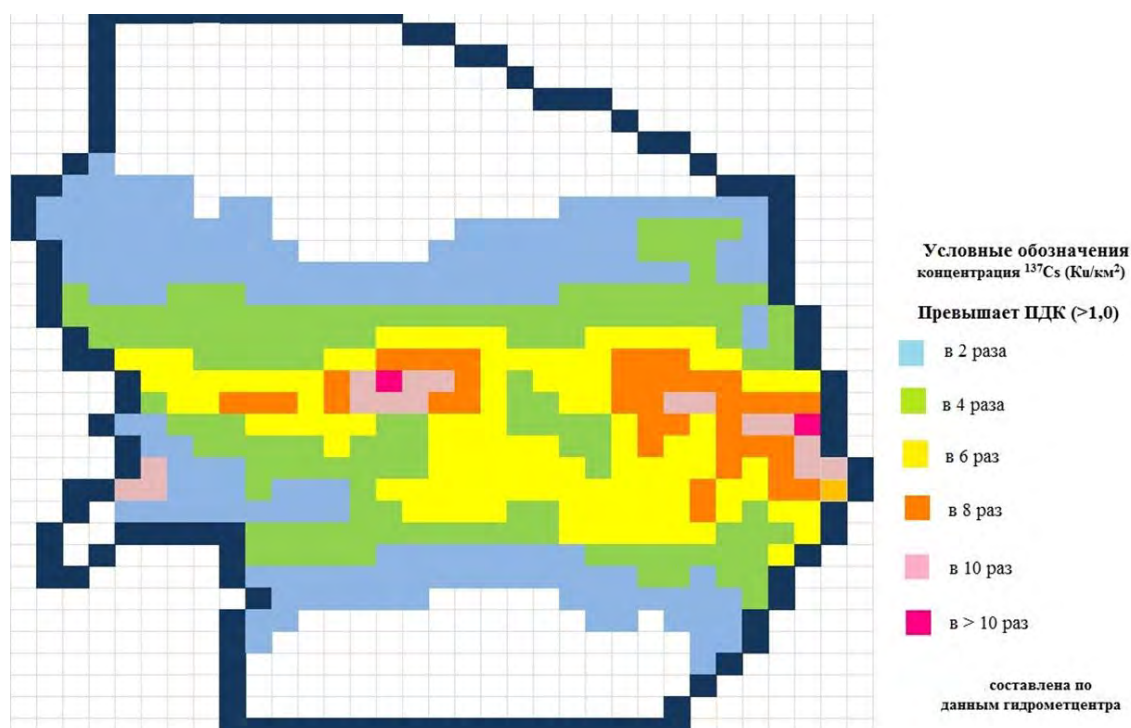


Рис. 1. Картосхема поверхностного загрязнения радионуклидом ^{137}Cs юга Калужской области (Карта ..., 1991). **Fig. 1.** Cartographic chart of surface contamination with ^{137}Cs radionuclide in the south of Kaluga Region (Карта ..., 1991).

Изменения концентрации загрязняющих веществ с различными Kd без распада для двух временных периодов (30 лет и 300 лет) для двух разрезов

Разрез I-I, начальные концентрации ЗВ в точках: 1 – 8, 11 – 6, 12 – 4, 13 – 2, 14 – 4, 15 – 2 ПДК.

Через 30 лет после аварии (табл. 1), как видно на рисунке 3а, наблюдается четкая тенденция объединения значений концентрации ЗВ с Kd от 1 до 10 (сценарии 1-3) и от 6 до 1000 (сценарии 4-6) в *первом слое*. В точке 1 наблюдаются максимальные концентрации ЗВ 7-8 ПДК при сценариях 4-6 и уменьшение концентрации до 6-7 ПДК при сценариях 1-3; аналогичные ситуации наблюдаются в точках 11 и 14, а в точках 12, 13 и 15, находящихся в

зоне разгрузки подземных вод, концентрации при всех значениях сравниваются и резко уменьшаются до 2 ПДК, что свидетельствует о более значительной роли гидродисперсии потока подземных вод. Концентрации после аварии при всех значениях K_d мало изменились по сравнению с начальными концентрациями в точках разреза до аварии. Во **втором слое – водоупоре** (рис. 3б) в точке 1 наблюдаются незначительные концентрации ЗВ по сценариям 1-3 (от 0.1 до 0.033 ПДК), по этим же сценариям в точках 11 и 14 наблюдаются еще меньшие, не превышающие 0.1 ПДК концентрации; в остальных точках наблюдаются малозначимые следы ЗВ. Загрязняющие вещества с большими K_d при сценариях 4-6 наблюдаются также в практически незначимых концентрациях. В **третьем слое** во всех точках при всех сценариях ЗВ не наблюдаются, т.е. они не проникают через водоупор.

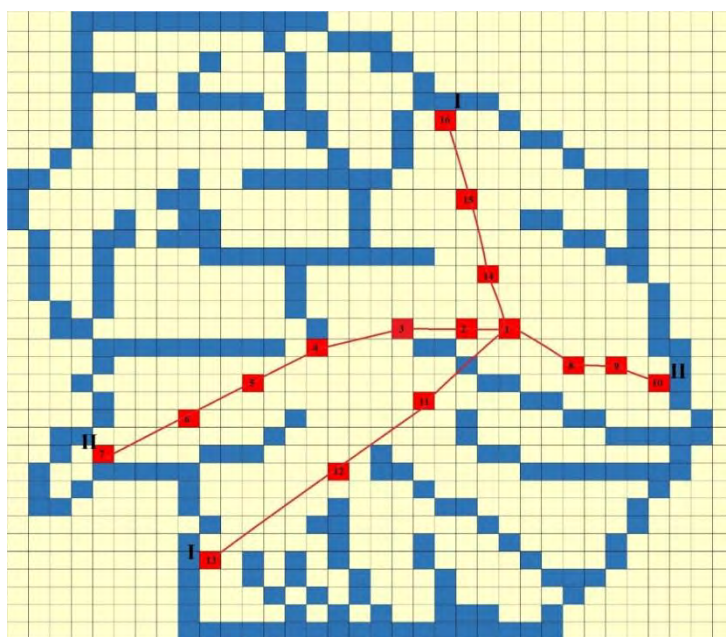


Рис. 2. Схематическое изображение размещения разрезов I-I и II-II с точками наблюдений на модели изучаемого объекта. **Fig. 2.** Schematic representation of the location of sections I-I and II-II with observation points on the model of the object under study.

Через 300 лет (табл. 2) после аварии (рис. 3в) в **первом слое** происходит явное перераспределение ЗВ по типу K_d : ЗВ с малыми K_d (сценарии 1-3) сильнее мигрируют в этом слое, а их незначительное количество попадает во второй слой; ЗВ с высокими K_d (сценарии 4-6) сохраняются в слое практически в тех же концентрациях. Во **втором слое – водоупоре** наблюдается значительное накопление ЗВ с малыми значениями K_d (сценарии 1-3) до 3.5 ПДК (рис. 3г), при этом накопление наблюдается только в точке 11, не очень значительное – в точках 1 и 14, в остальных – только следы. Следует отметить, что здесь произошло смещение максимальных концентраций ЗВ от точки 1 через 30 лет после аварии в точку 11 за счет гидродинамической дисперсии потока подземных вод, где точка 1 находится на водоразделе и из нее происходит растекание потока, концентрации ЗВ в котором накапливаются за долгое время. В **третьем слое** в пределах данного разреза накопление ЗВ не наблюдается.

Разрез II-II, начальные концентрации ЗВ в точках: 1 – 8, 2 – 6, 3 – 8, 4 – 12, 5 – 6, 6 – 2, 7 – 2, 8 – 10, 9 – 8, 10 – 12 ПДК.

Через 30 лет после аварии (табл. 1; рис. 4а) в **первом слое** складывается аналогичная с разрезом I ситуация и происходит та же дифференциация по сценариям, отмечается

Таблица 1. Изменение концентрации (ПДК) сильно сорбируемых загрязняющих веществ в грунтовых водах, водораздельном слое и напорных водах в процессе их миграции (30 и 60 лет). **Table 1.** Change in concentration of highly sorbed pollutants in groundwater, watershed and pressure water during their migration (30 and 60 years).

№ разреза	№ точки наблюдения	Kd 1-3-1				Kd 1-6-1				Kd 6-60-6			
		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада	
		Номер слоя											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
30 лет													
I	13	0.989	0.00015	1.967	0.00020	0.989	0.00008	1.966	0.00010	0.867	0.00001	1.990	0.00001
	12	1.985	0.00037	3.945	0.00073	1.985	0.00028	3.945	0.00037	1.736	0.00003	3.990	0.00004
	11	2.891	0.00527	5.746	0.00695	2.891	0.00266	5.645	0.00351	2.589	0.00031	5.950	0.00036
	1	3.491	0.02430	6.938	0.03180	3.491	0.01230	6.938	0.01610	3.387	0.00148	7.786	0.00172
	14	1.890	0.00465	3.757	0.00613	1.890	0.00235	3.757	0.00309	1.719	0.00027	3.952	0.00032
	15	0.963	0.00033	1.913	0.00044	0.963	0.00017	1.913	0.00022	0.863	0.00002	1.983	0.00002
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.957	0.00066	1.902	0.00087	0.957	0.00033	1.901	0.00044	0.862	0.00039	1.980	0.00005
	6	0.976	0.00017	1.940	0.00045	0.976	0.00009	1.940	0.00012	0.865	0.00001	1.988	0.00001
	5	2.928	0.00033	5.829	0.00043	2.928	0.00017	5.819	0.00022	2.595	0.00002	5.965	0.00002
	4	5.873	0.00439	11.670	0.00581	5.873	0.00222	11.627	0.00293	5.193	0.00025	11.937	0.00030
	3	3.870	0.00075	7.691	0.00098	3.870	0.00038	7.691	0.00050	3.454	0.00004	7.940	0.00005
	2	2.814	0.02070	5.559	0.02730	2.814	0.01050	5.593	0.00014	2.575	0.00123	5.920	0.00143
	1	3.491	0.02430	6.938	0.03180	3.491	0.01230	6.938	0.01610	3.387	0.00148	7.786	0.00172
	8	4.635	0.02040	9.212	0.02685	4.635	0.01030	9.212	0.01300	4.283	0.00120	9.845	0.00141
	9	3.887	0.01470	7.726	0.01943	3.887	0.00743	7.726	0.00980	3.457	0.00086	7.947	0.00100
	10	5.771	0.02050	11.470	0.02712	5.771	0.01040	11.470	0.01300	5.176	0.00120	11.897	0.00141
60 лет													
I	13	0.489	0.00024	1.933	0.00043	0.490	0.00012	1.933	0.00022	0.377	0.00001	1.978	0.00002
	12	0.985	0.00079	3.890	0.01344	0.985	0.00040	3.890	0.00068	0.755	0.00004	3.979	0.00007
	11	1.381	0.00805	5.454	0.01424	1.381	0.00406	5.453	0.00719	1.118	0.00046	5.892	0.00075
	1	1.474	0.03560	5.820	0.06137	1.474	0.01800	5.819	0.03100	1.428	0.00216	7.530	0.00953
	14	0.898	0.00637	3.545	0.01063	0.897	0.00322	3.545	0.00537	0.741	0.00036	3.909	0.00057
	15	0.462	0.00049	1.826	0.00086	0.462	0.00025	1.825	0.00043	0.373	0.00003	1.965	0.00005
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.458	0.00097	1.808	0.00167	0.458	0.00049	1.808	0.00084	0.372	0.00006	1.962	0.00009
	6	0.476	0.00026	1.882	0.00045	0.476	0.00013	1.882	0.00023	0.375	0.00001	1.976	0.00002
	5	1.428	0.00048	5.640	0.00083	1.428	0.00024	5.640	0.00042	1.125	0.00003	5.929	0.00004
	4	2.870	0.00662	11.335	0.01164	2.870	0.00334	11.335	0.00587	2.252	0.00037	11.870	0.00061
	3	1.866	0.00118	7.367	0.00213	1.865	0.00060	7.367	0.00107	1.494	0.00007	7.875	0.00012
	2	1.313	0.03050	5.185	0.05309	1.313	0.01540	5.185	0.02080	1.107	0.00180	5.896	0.00287
	1	1.474	0.03560	5.820	0.06137	1.474	0.01800	5.819	0.03100	1.428	0.00216	7.530	0.00953
	8	2.134	0.03020	8.425	0.05249	2.134	0.01520	8.425	0.02652	1.836	0.00170	9.679	0.00286
	9	1.875	0.02280	7.406	0.04060	1.875	0.01150	4.405	0.02052	1.496	0.00130	7.883	0.00213
	10	2.773	0.03040	10.950	0.05296	2.773	0.01540	10.950	0.02674	2.238	0.00170	11.793	0.00279

Продолжение таблицы 1.

№ разреза	№ точки наблюдения	Кв 1-10-1				Кд 100-1000-100				Кд 26-260-26			
		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада	
		Номер слоя											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
30 лет													
I	13	0.989	0.00005	1.966	0.00006	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.842	0.00000	1.998	0.00000
	12	1.985	0.00017	3.945	0.00022	1.686	0.00000	3.990	0.00000	1.684	0.00001	3.998	0.00001
	11	2.891	0.00160	5.745	0.00211	2.528	0.00002	5.990	0.00002	2.524	0.00007	5.988	0.00008
	1	3.491	0.00739	6.938	0.00969	3.366	0.00009	7.980	0.00010	3.350	0.00035	7.949	0.00040
	14	1.890	0.00141	3.757	0.00186	1.685	0.00002	3.990	0.00002	1.681	0.00006	3.998	0.00007
	15	0.963	0.00010	1.913	0.00013	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00000	1.996	0.00001
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.957	0.00020	1.901	0.00027	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00001	1.995	0.00001
	6	0.976	0.00005	1.940	0.00007	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00000	1.997	0.00000
	5	2.928	0.00010	5.819	0.00013	2.528	0.00000	5.990	0.00000	2.525	0.00000	5.991	0.00001
	4	5.873	0.00134	11.672	0.00176	5.056	0.00002	11.990	0.00002	5.051	0.00006	11.985	0.00007
	3	3.870	0.00026	7.691	0.00030	3.370	0.00000	8.000	0.00000	3.366	0.00001	7.985	0.00001
	2	2.814	0.00631	5.592	0.00830	2.527	0.00008	5.990	0.00009	2.520	0.00129	5.981	0.00033
	1	3.491	0.00739	6.938	0.00969	3.366	0.00009	7.980	0.00010	3.350	0.00035	7.949	0.00040
	8	4.635	0.00620	9.212	0.00816	4.210	0.00008	9.990	0.00009	4.199	0.00028	9.963	0.00021
	9	3.887	0.00448	7.726	0.00591	3.371	0.00005	7.990	0.00006	3.367	0.00020	7.987	0.00017
	10	5.771	0.00625	11.470	0.00824	5.055	0.00007	11.990	0.00009	5.047	0.00028	11.975	0.00033
60 лет													
I	13	0.489	0.00007	1.933	0.00013	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00000	1.997	0.00001
	12	0.985	0.00024	3.891	0.00041	0.710	0.00000	3.990	0.00000	0.709	0.00001	3.995	0.00002
	11	1.381	0.00245	5.453	0.00433	1.065	0.00003	5.990	0.00005	1.060	0.00011	5.974	0.00018
	1	1.473	0.01080	5.819	0.01870	1.420	0.00013	7.970	0.00022	1.400	0.00051	7.887	0.00083
	14	0.898	0.00194	3.545	0.00323	0.710	0.00002	3.990	0.00003	0.707	0.00009	3.978	0.00013
	15	0.462	0.00015	1.825	0.00026	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00001	1.992	0.00001
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.458	0.00029	1.808	0.00051	0.355	0.00000	1.990	0.00001	0.353	0.00001	1.991	0.00002
	6	0.477	0.00008	1.882	0.00014	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00000	1.995	0.00001
	5	1.428	0.00015	5.640	0.00025	1.065	0.00000	5.990	0.00000	1.060	0.00001	5.983	0.00001
	4	2.870	0.00201	11.335	0.00354	2.130	0.00002	11.990	0.00004	2.126	0.00009	11.969	0.00014
	3	1.866	0.00036	7.367	0.00065	1.420	0.00000	7.990	0.00001	1.410	0.00002	7.970	0.00003
	2	1.313	0.00931	5.185	0.01620	1.064	0.00011	5.980	0.00017	1.050	0.00042	5.967	0.00067
	1	1.473	0.01080	5.819	0.01870	1.420	0.00013	7.970	0.00022	1.400	0.00051	7.887	0.00083
	8	2.133	0.00919	8.425	0.01590	1.773	0.00011	9.970	0.00017	1.760	0.00041	9.923	0.00067
	9	1.875	0.00694	7.405	0.01236	1.420	0.00008	7.990	0.00013	1.420	0.00030	7.972	0.00050
	10	2.774	0.00925	10.953	0.01610	2.129	0.00011	11.980	0.00017	2.120	0.00040	11.951	0.00065

Примечание к таблицам 1-2: информация по третьему слою не приводится, поскольку значения в точках наблюдения равны нулю.

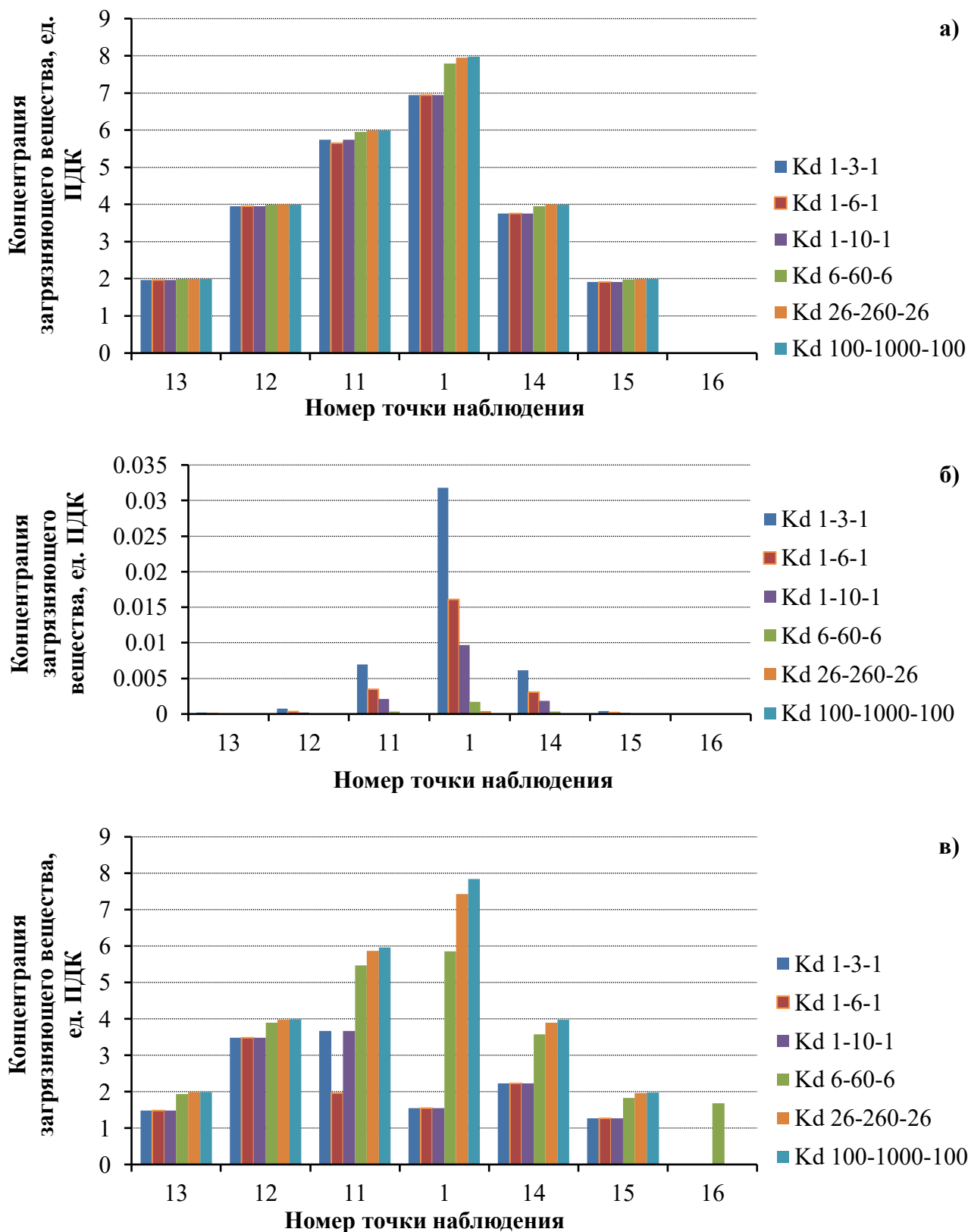


Рис. 3а, б, в. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез I без распада: а) 30 лет, слой 1; б) 30 лет, слой 2; в) 300 лет, слой 1. **Fig. 3a, б, в.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section I-I: а) 30 years, layer 1 without decay; б) 30 years, layer 2 without decay; в) 300 years, layer 1 without decay.

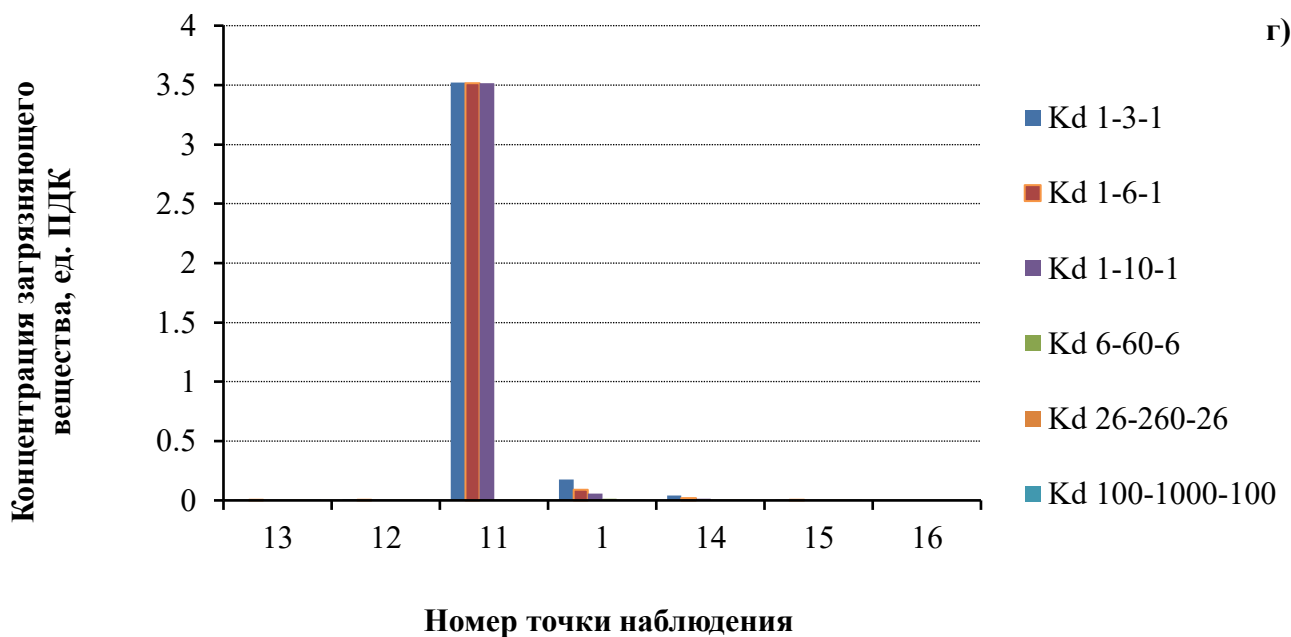


Рис. 3г. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез I без распада: г) 300 лет, слой 2. **Fig. 3г.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section I-I: г) 300 years, layer 2 without decay.

незначительное отличие концентраций ЗВ от начальных значений. Этот разрез отличается большими концентрациями ЗВ, максимальные составляют 12 ПДК. Во **втором слое – водоупоре** (рис. 4б) отмечаются аналогичные с разрезом I тенденции: происходит незначительное накопление ЗВ по сценариям 1-3, но концентрации не превышают 0.33 ПДК при самом малом Kd, а при большом Kd следы ЗВ малозначимы. Также отмечается роль гидродисперсии потока подземных вод, приводящая к некоторому смещению максимальных концентраций от одних точек к другим: например, от точки 8 в первом слое к точке 1 во втором. **Третий слой** – нулевая концентрация ЗВ.

Через 300 лет (табл. 2) после аварии (рис. 4в) в **первом слое** происходит аналогичное перераспределение ЗВ по типу Kd: ЗВ с малыми Kd (сценарий 1-3) сильнее мигрируют в этом слое, а их незначительное количество попадает во второй слой; ЗВ с высокими Kd (сценарий 4-6) сохраняются в слое практически в первоначальных концентрациях. Во **втором слое – водоупоре** наблюдается незначительное накопление ЗВ с малыми значениями Kd (сценарий 1-3) – до 0.22 ПДК (рис. 4г), при этом незначительное накопление наблюдается во всех точках кроме 5-7, где отмечается практически нулевое накопление. Следует отметить, что здесь также произошло смещение максимальных концентраций ЗВ от одних точек к другим за счет гидродинамической дисперсии потока подземных вод. В **третьем слое** накопление ЗВ не наблюдается.

Кроме рассмотренных временных интервалов были проведены расчеты на 60 и 100 лет, результаты которых приведены в таблицах 1 и 2.

Изменения концентрации загрязняющих веществ с различными Kd с расходом для двух временных периодов (30 лет и 300 лет) для двух разрезов

Разрез I-I, начальные концентрации ЗВ в точках: 1 – 8, 11 – 6, 12 – 4, 13 – 2, 14 – 4, 15 – 2 ПДК.

Таблица 2. Изменение концентрации (ПДК) сильно сорбируемых загрязняющих веществ в грунтовых водах, водораздельном слое и напорных водах в процессе их миграции (100 и 300 лет). **Table 2.** Change in concentration of highly sorbed pollutants in groundwater, watershed and pressure water during their migration (100 and 300 years).

№ разреза	№ точки наблюдения	Kd 1-3-1				Kd 1-6-1				Kd 6-60-6			
		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада	
		Номер слоя											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
100 лет													
I	13	0.191	0.00027	1.891	0.00066	0.191	0.00014	1.891	0.00033	0.110	0.00002	1.978	0.00003
	12	0.386	0.00100	3.820	0.00241	0.386	0.00050	3.820	0.00112	0.220	0.00005	3.965	0.00013
	11	0.524	0.00926	5.193	0.02200	0.524	0.00468	5.193	0.01111	0.325	0.00510	5.837	0.00119
	1	0.503	0.04010	4.978	0.09000	0.503	0.02030	4.977	0.04570	0.406	0.00244	7.309	0.00551
	14	0.328	0.00808	3.246	0.01900	0.328	0.00408	3.246	0.00959	0.214	0.00046	3.844	0.00105
	15	0.177	0.00058	1.725	0.00137	0.174	0.00029	1.725	0.00069	0.108	0.00003	1.944	0.00007
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.170	0.00116	1.690	0.00274	0.170	0.00059	1.690	0.00138	0.107	0.00007	1.937	0.00015
	6	0.183	0.00031	1.810	0.00073	0.183	0.00015	1.809	0.00037	0.109	0.00002	1.962	0.00004
	5	0.548	0.00058	5.419	0.00139	0.551	0.00029	5.419	0.00070	0.327	0.00003	5.884	0.00007
	4	1.106	0.00781	10.934	0.01870	1.060	0.00394	10.943	0.00945	0.655	0.00043	11.790	0.00099
	3	0.709	0.00132	7.018	0.00313	0.709	0.00066	7.018	0.00158	0.433	0.00002	7.803	0.00017
	2	0.480	0.03560	4.748	0.08360	0.479	0.01810	4.747	0.04233	0.319	0.00204	5.738	0.00470
	1	0.503	0.04010	4.978	0.09000	0.503	0.02030	4.977	0.04570	0.406	0.00244	7.309	0.00551
	8	0.769	0.03490	7.608	0.08130	0.769	0.01770	7.607	0.04111	0.528	0.00200	9.493	0.00462
	9	0.709	0.02590	7.017	0.06200	0.709	0.01310	7.016	0.03134	0.435	0.00140	7.828	0.00319
	10	1.010	0.03590	10.018	0.08490	1.012	0.01820	10.010	0.04291	0.648	0.00200	11.661	0.00464
300 лет													
I	13	0.002	0.00031	1.477	0.002	0.002	0.00031	1.477	0.00097	0.000	0.00002	1.936	0.00011
	12	0.004	0.00108	3.483	0.006	0.004	0.00108	3.483	0.00313	0.001	0.00006	3.896	0.00033
	11	0.004	0.00927	3.673	3.520	0.004	0.00927	1.962	3.51700	0.001	0.00055	5.463	0.00368
	1	0.003	0.04170	1.550	0.177	0.003	0.04170	1.547	0.09070	0.001	0.00260	5.848	0.01580
	14	0.002	0.00857	2.229	0.041	0.002	0.00857	2.223	0.02000	0.001	0.00048	3.571	0.00260
	15	0.001	0.00063	1.262	0.004	0.001	0.00063	1.262	0.00183	0.000	0.00003	1.832	0.00022
	16	0.000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	1.676	0.00000
II	7	0.001	0.00126	1.739	0.007	0.001	0.00126	1.739	0.00362	0.000	0.00007	1.817	0.00042
	6	0.002	0.00034	1.849	0.002	0.002	0.00034	1.849	0.00105	0.000	0.00002	1.887	0.00012
	5	0.005	0.00064	4.401	0.004	0.005	0.00064	4.401	0.00185	0.001	0.00003	5.656	0.00021
	4	0.009	0.00859	8.548	0.052	0.009	0.00859	8.550	0.02610	0.002	0.00045	11.360	0.00298
	3	0.005	0.00147	5.262	0.093	0.005	0.00147	5.262	0.00471	0.001	0.00008	7.387	0.00056
	2	0.004	0.03760	2.723	0.195	0.004	0.03760	2.716	0.09960	0.001	0.00220	5.213	0.01360
	1	0.003	0.04170	1.550	0.177	0.003	0.04170	1.547	0.09070	0.001	0.00260	5.848	0.01580
	8	0.005	0.03720	4.210	0.190	0.005	0.03720	4.201	0.09600	0.001	0.00210	8.476	0.01350
	9	0.006	0.02830	5.261	0.174	0.006	0.02830	5.257	0.08843	0.001	0.00150	7.415	0.01050
	10	0.006	0.04000	6.209	0.209	0.006	0.04000	6.206	0.10600	0.002	0.00210	10.998	0.01350

Продолжение таблицы 2.

№ разреза	№ точки наблюдения	Kd 1-10-1				Kd 100-1000-100				Kd 26-260-26			
		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада		С распадом		Без распада	
		Номер слоя											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		100 лет											
I	13	0.191	0.00008	1.890	0.00020	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00000	1.995	0.00001
	12	0.386	0.00030	3.820	0.00073	0.202	0.00000	3.990	0.00001	0.202	0.00001	3.990	0.00003
	11	0.525	0.00282	5.193	0.00669	0.303	0.00003	5.980	0.00007	0.301	0.00012	5.961	0.00028
	1	0.503	0.01226	4.976	0.02756	0.402	0.00015	7.950	0.00035	0.396	0.00057	7.831	0.00133
	14	0.328	0.00246	3.246	0.00578	0.202	0.00003	3.990	0.00006	0.200	0.00010	3.963	0.00025
	15	0.174	0.00018	1.725	0.00042	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00001	1.987	0.00002
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.171	0.00035	1.690	0.00083	0.101	0.00000	1.990	0.00009	0.100	0.00002	1.984	0.00003
	6	0.183	0.00009	1.809	0.00022	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00000	1.990	0.00001
	5	0.547	0.00018	5.419	0.00042	0.303	0.00000	5.990	0.00000	0.302	0.00001	5.972	0.00002
	4	1.106	0.00237	10.943	0.00569	0.607	0.00003	11.980	0.00006	0.604	0.00010	11.950	0.00023
	3	0.709	0.00040	7.018	0.00095	0.404	0.00000	7.980	0.00001	0.402	0.00002	7.953	0.00004
	2	0.479	0.01090	4.747	0.02550	0.303	0.00012	5.980	0.00029	0.300	0.00048	5.937	0.00110
	1	0.503	0.01226	4.976	0.02756	0.402	0.00015	7.950	0.00035	0.396	0.00057	7.831	0.00133
	8	0.769	0.01060	7.607	0.02477	0.505	0.00012	9.960	0.00028	0.500	0.00047	9.878	0.00109
	9	0.709	0.00791	7.016	0.01800	0.404	0.00009	7.990	0.00021	0.400	0.00033	7.958	0.00077
	10	1.012	0.01090	10.017	0.02585	0.606	0.00012	11.980	0.00028	0.603	0.00047	9.917	0.00108
		300 лет											
I	13	0.002	0.00009	1.476	0.00059	0.000	0.00000	1.990	0.00001	0.000	0.00000	1.984	0.00003
	12	0.004	0.00033	3.483	0.00188	0.000	0.00000	3.990	0.00002	0.000	0.00001	3.975	0.00008
	11	0.004	0.00856	3.672	3.51600	0.001	0.00003	5.965	0.00023	0.001	0.00013	5.869	0.00088
	1	0.002	0.01300	1.544	0.05480	0.001	0.00016	7.847	0.00100	0.001	0.00060	7.430	0.00410
	14	0.002	0.00262	2.227	0.01249	0.000	0.00003	3.972	0.00016	0.000	0.00010	3.894	0.00063
	15	0.001	0.00019	1.262	0.00410	0.000	0.00000	1.980	0.00001	0.000	0.00001	1.959	0.00005
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.001	0.00038	1.739	0.00218	0.000	0.00000	1.980	0.00003	0.000	0.00002	1.955	0.00010
	6	0.002	0.00010	1.365	0.00063	0.000	0.00000	1.990	0.00001	0.000	0.00000	1.973	0.00005
	5	0.005	0.00019	4.401	0.00112	0.001	0.00000	5.980	0.00001	0.001	0.00001	5.917	0.00005
	4	0.009	0.00262	8.548	0.01575	0.002	0.00003	11.960	0.00018	0.002	0.00010	11.846	0.00070
	3	0.005	0.00045	5.262	0.01136	0.001	0.00000	7.960	0.00004	0.001	0.00002	7.851	0.00013
	2	0.003	0.01170	2.713	0.06000	0.001	0.00013	5.948	0.00087	0.001	0.00050	5.804	0.00332
	1	0.002	0.01300	1.544	0.05480	0.001	0.00016	7.847	0.00100	0.001	0.00060	7.430	0.00410
	8	0.005	0.01150	4.198	0.05845	0.001	0.00013	9.890	0.00087	0.001	0.00049	9.617	0.00332
	9	0.006	0.00873	5.255	0.05339	0.001	0.00009	7.960	0.00066	0.001	0.00035	7.858	0.00251
	10	0.006	0.01190	6.205	0.06396	0.002	0.00013	11.935	0.00084	0.001	0.00049	11.755	0.00378

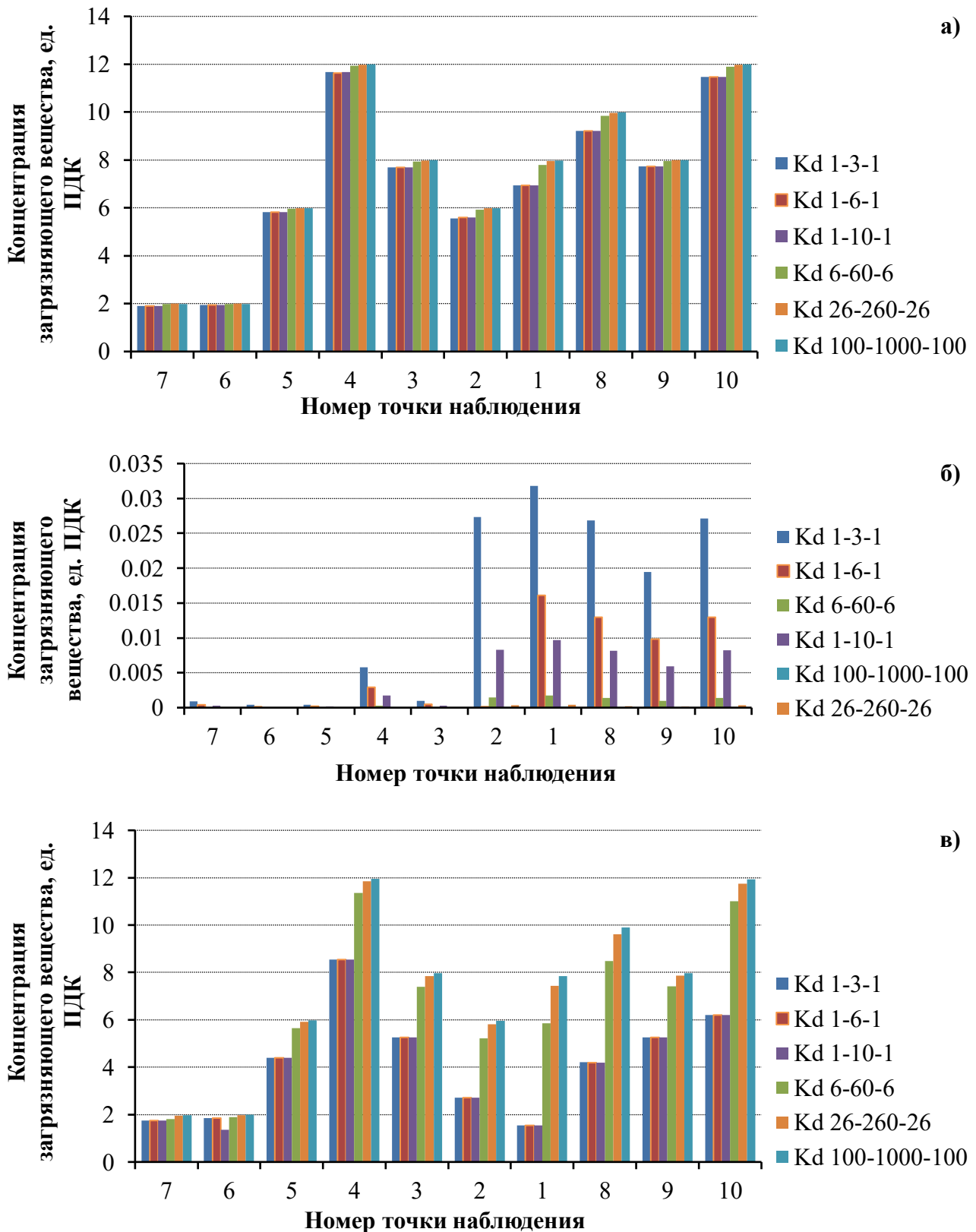


Рис. 4а, б, в. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез II без распада: а) 30 лет, слой 1; б) 30 лет, слой 2; в) 300 лет, слой 1. Fig. 4a, б, в. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section II: а) 30 years, layer 1 without decay; б) 30 years, layer 2 without decay; в) 300 years, layer 1 without decay.

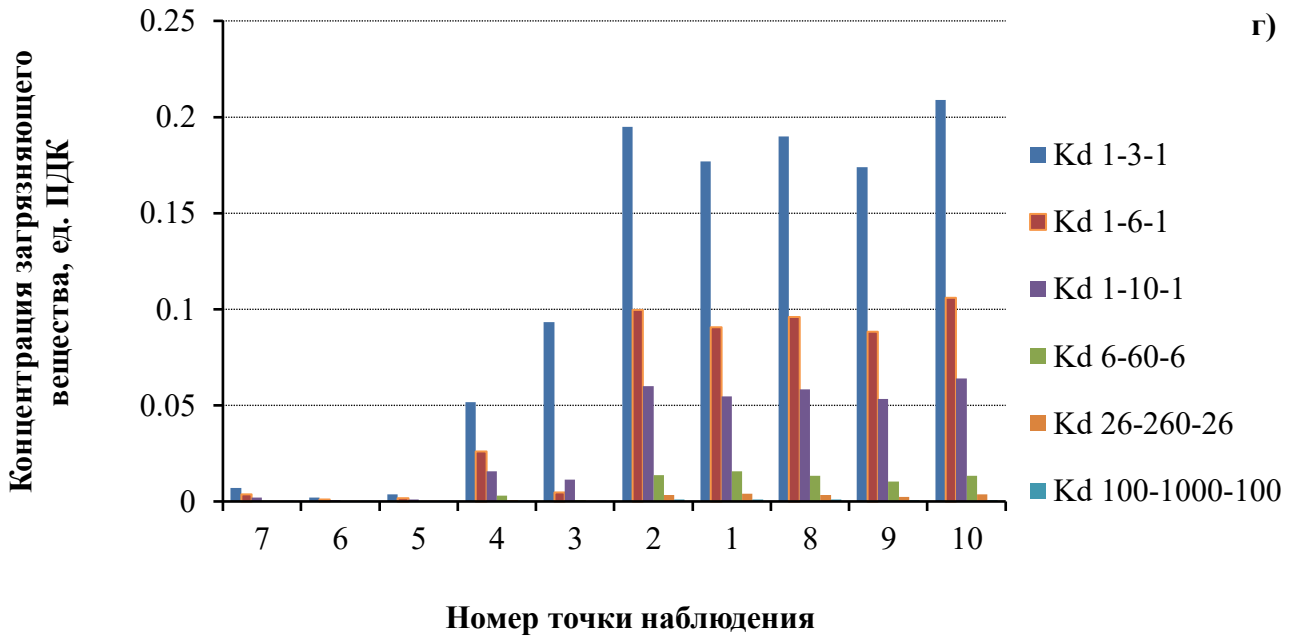


Рис. 4г. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез II без распада: г) 300 лет, слой 2. **Fig. 4г.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section II: г) 300 years, layer 2 without decay.

Через 30 лет после аварии (табл. 1; рис. 5а) в *первом слое* наблюдается та же тенденция группировки ЗВ по Kd, что и для ЗВ с распадом в этом же слое, но концентрации этих веществ практически вдвое меньше (3.5 ПДК), чем у ЗВ без распада, т.к. уже прошел один период полураспада (30 лет для радионуклидов), а также наблюдается влияние гидродисперсии потока подземных вод, более эффективное на ЗВ с меньшим Kd и на их накоплении путем перетекания в соседние расчетные ячейки, но менее эффективное на очень сильно сорбируемые ЗВ. Во *втором слое – водоупоре* наблюдается абсолютно аналогичная картина (рис. 5б), как и в слое 2 на первом разрезе, только концентрации ЗВ несколько уменьшаются: например, в точке 1 без распада – 0.032 ПДК, а с распадом – 0.024, т.е. в водоупоре накапливается меньше слабо сорбируемых ЗВ с распадом, а сильно сорбируемые ЗВ оставляют только следы. *Третий слой* – нулевая концентрация ЗВ.

Через 300 лет (табл. 2) после аварии (рис. 5в) в *первом слое* происходит практически полное удаление ЗВ (до < 0.001 ПДК) с высокими значениями Kd (сценарии 4-6) и отмечается лишь незначительное содержание ЗВ (до 0.004 ПДК) с низкими значениями Kd (сценарии 1-3).

Таким образом, можно говорить о почти полном распаде радиоактивных ЗВ с различными Kd. Во *втором слое – водоупоре* (рис. 5г) наблюдается некоторое увеличение концентрации ЗВ по сравнению с периодом на 30 лет после аварии: например, в точке 1 после 30 лет концентрация слабо сорбируемых веществ достигала 0.025 ПДК (рис. 5б), а на 300 лет увеличилась до 0.042 ПДК, что также не является значимой величиной, а только свидетельствует о наличии следов данных ЗВ в водоупоре. *Третий слой* – нулевая концентрация ЗВ.

Разрез II-II, начальные концентрации ЗВ в точках: 1 – 8, 2 – 6, 3 – 8, 4 – 12, 5 – 6, 6 – 2, 7 – 2, 8 – 10, 9 – 8, 10 – 12 ПДК.

Через 30 лет после аварии (табл. 1; рис. 6а) общие тенденции распределения концентраций радиоактивных ЗВ в *первом слое* совпадают с нерадиоактивными (рис. 4а). Отличия заключаются в значениях концентрации: для радиоактивных они вдвое меньше,

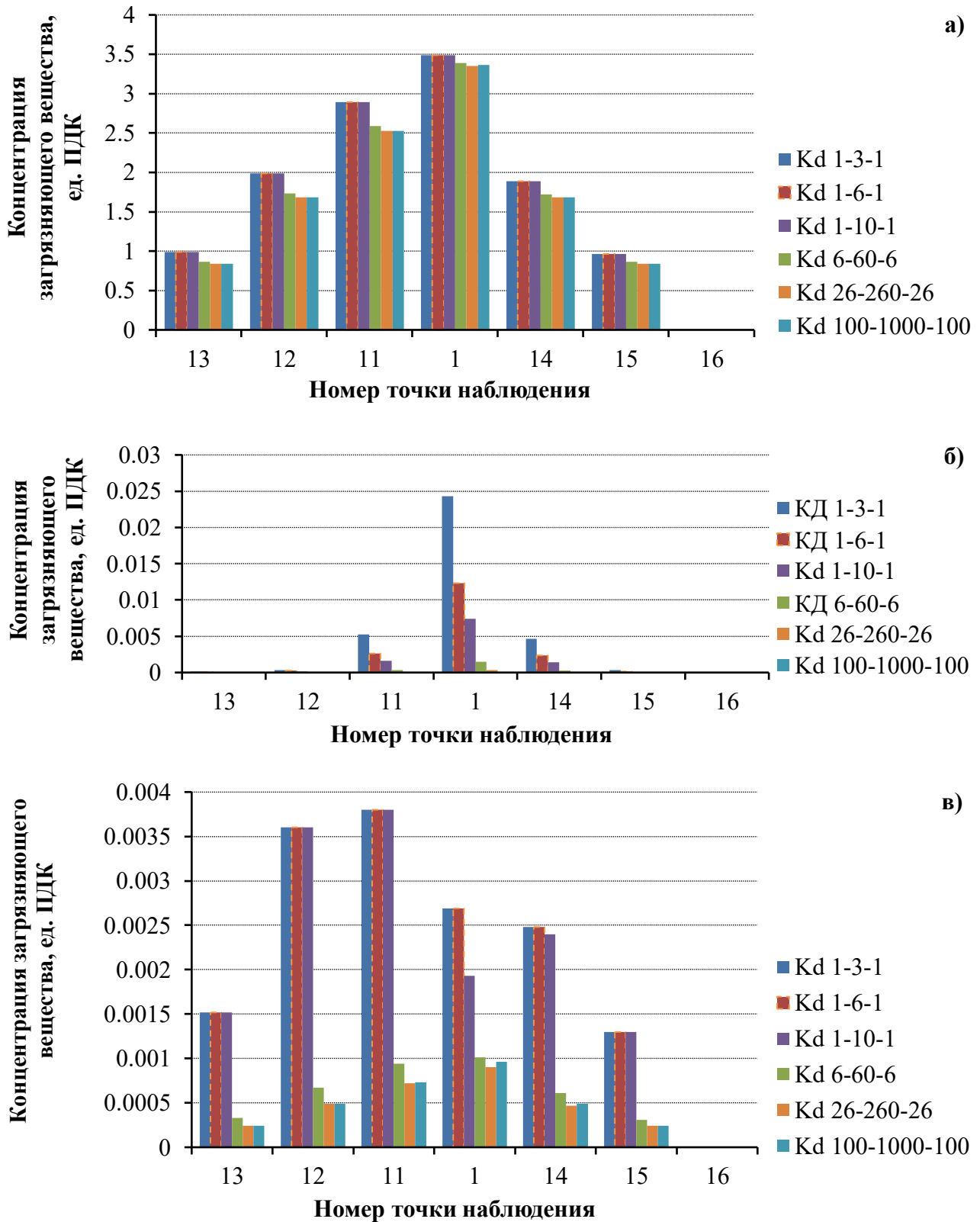


Рис. 5а, б, в. Распределение концентраций ЗВ для разных Кд, разрез I с распадом: а) 30 лет, слой 1; б) 30 лет, слой 2, в) 300 лет, слой 1. **Fig. 5а, б, в.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section I: а) 30 years, layer 1 with decay; б) 30 years, layer 2 with decay; в) 300 years, layer 1 with decay.

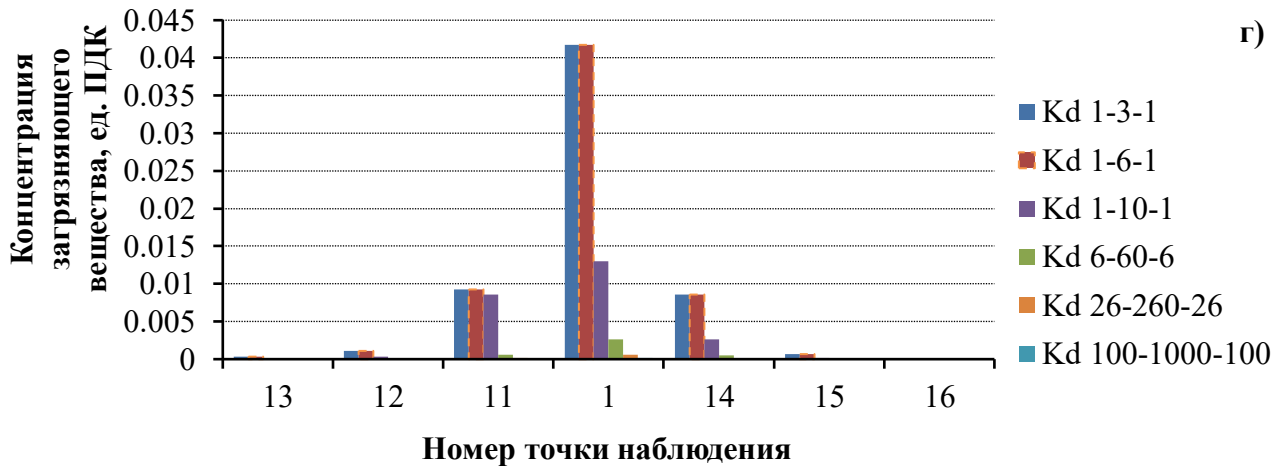


Рис. 5г. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез I с распадом: г) 300 лет, слой 2. **Fig. 5g.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section I: г) 300 years, layer 2 with decay.

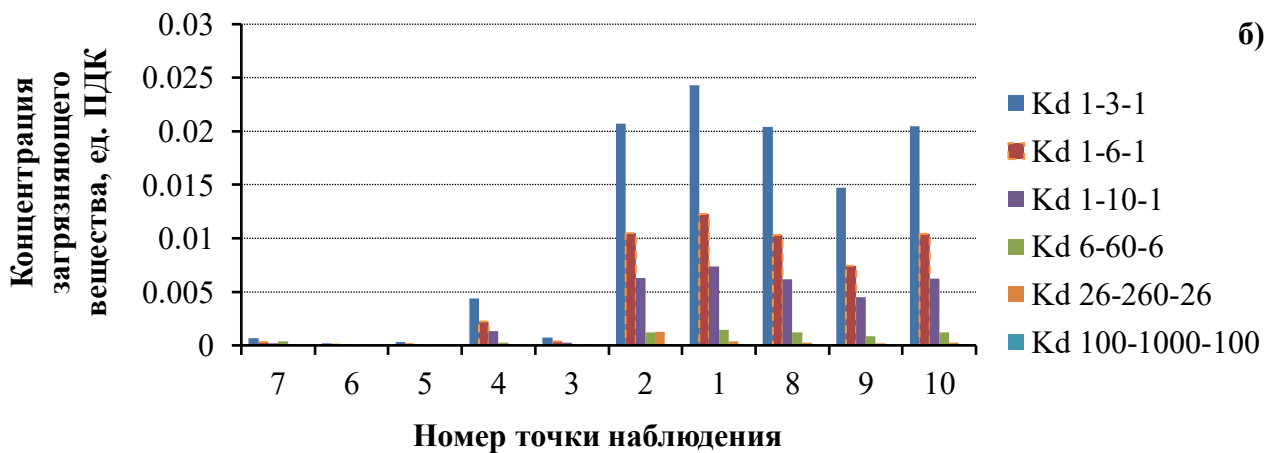
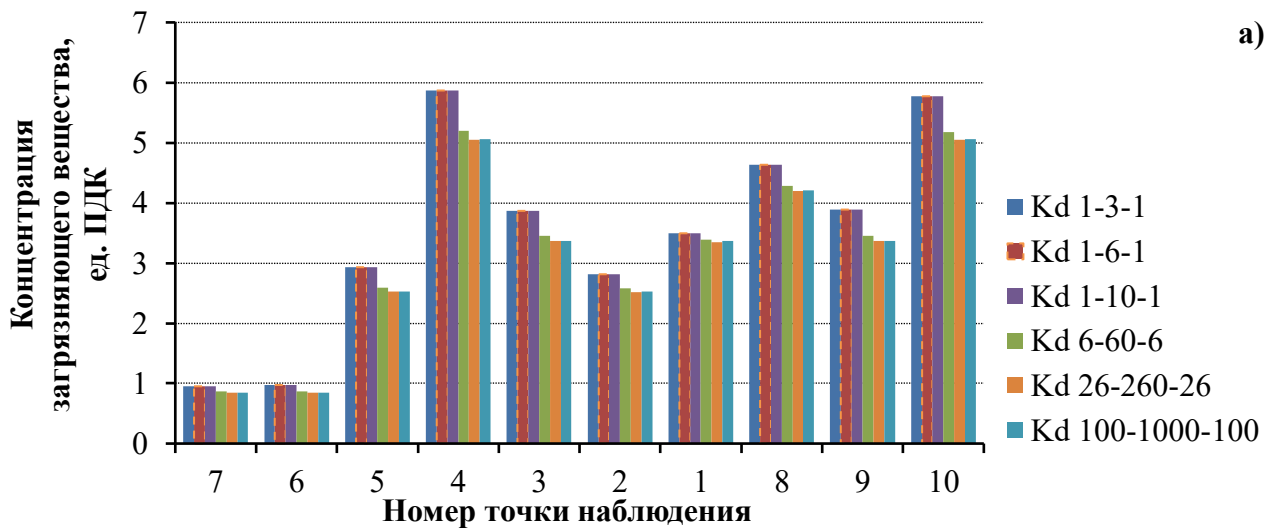


Рис. 6а, б. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез II с распадом: а) 30 лет, слой 1; б) 30 лет, слой 2. **Fig. 6а, б.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section II: а) 30 years, layer 1 with decay; б) 30 years, layer 2 with decay.

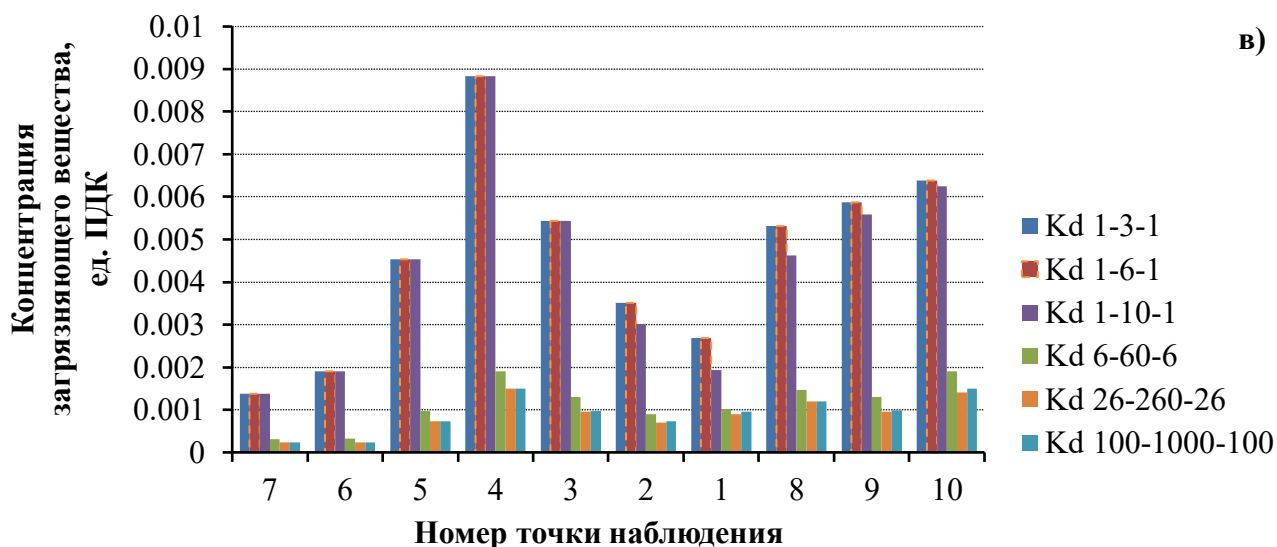


Рис. 6в. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез II с распадом: в) 300 лет, слой 1. **Fig. 6b.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section II: в) 300 years, layer 1 with decay.

например, в точке 4 – 12 ПДК (без распада) и порядка 6 ПДК (с распадом), и так – во всех точках, что определяются одним периодом полураспада радионуклидов. Кроме этого наблюдается смена максимумов ЗВ: без распада наибольшие концентрации имели ЗВ с большими Kd, а с распадом – с меньшими Kd, что связано с действием гидродисперсии потока подземных вод путем более интенсивного притока ЗВ с малыми Kd из соседних расчетных ячеек, чем ЗВ с высокими коэффициентами сорбции. Во **втором слое – водоупоре** (рис. 6б) наблюдаются накопление преимущественно слабо сорбируемых ЗВ, притекающих из первого слоя (до 0.025 ПДК) и следы сильно сорбирующихся ЗВ. **Третий слой** – нулевая концентрация ЗВ.

Через 300 лет после аварии (табл. 2; рис. 6в) в **первом слое** повторяются те же тенденции и изменения, что были отмечены для разреза I, только концентрации слабо сорбируемых ЗВ уменьшились с 12 ПДК в точке 1 до 0.009 ПДК, что определяются десятью периодами полураспада радионуклидов. Во **втором слое – водоупоре** (рис. 6г) также наблюдается незначительное увеличение всех слабо сорбируемых ЗВ по сценариям 1-3 – до 0.04 ПДК в точке 1 по сравнению с 0.024 ПДК после 30 лет (рис. 6б), также наблюдаются следы сильно сорбируемых ЗВ. **Третий слой** – нулевая концентрация ЗВ.

Изменение концентраций загрязняющих веществ в зависимости от их коэффициента сорбции

Сценарий (1-6-1). Разрез I-I. Распределение концентраций ЗВ без распада в **первом слое** в незначительной степени изменилось спустя 30 лет после аварии по отношению к исходной концентрации (рис. 7а). Например, в точке 1 при начальной 8 ПДК значение для этого срока изменилось до 7 ПДК, для 60 лет – чуть меньше – до 6 ПДК, для 100 лет – около 5 ПДК, для 300 лет – снизилось до 1.5 ПДК, причем, скачок в последний срок обусловлен в большей степени гидродисперсией потока. Концентрации ЗВ с распадом уменьшается во всех точках более чем вдвое (рис. 7а) за 30 лет, т.е. за один период полураспада радионуклидов и гидродисперсии потока подземных вод: если в точке 1 изначальная ПДК составляла 8, то после 30 лет она уменьшалась до 3.5 ПДК, а должна была до 4 ПДК,

следовательно, уменьшение на 0.5 ПДК обусловлено гидродисперсией потока, т.е. перетеканием в соседние ячейки. Такая же тенденция наблюдается в других точках разреза, и за 300 лет сохраняются только незначительные следы ЗВ.

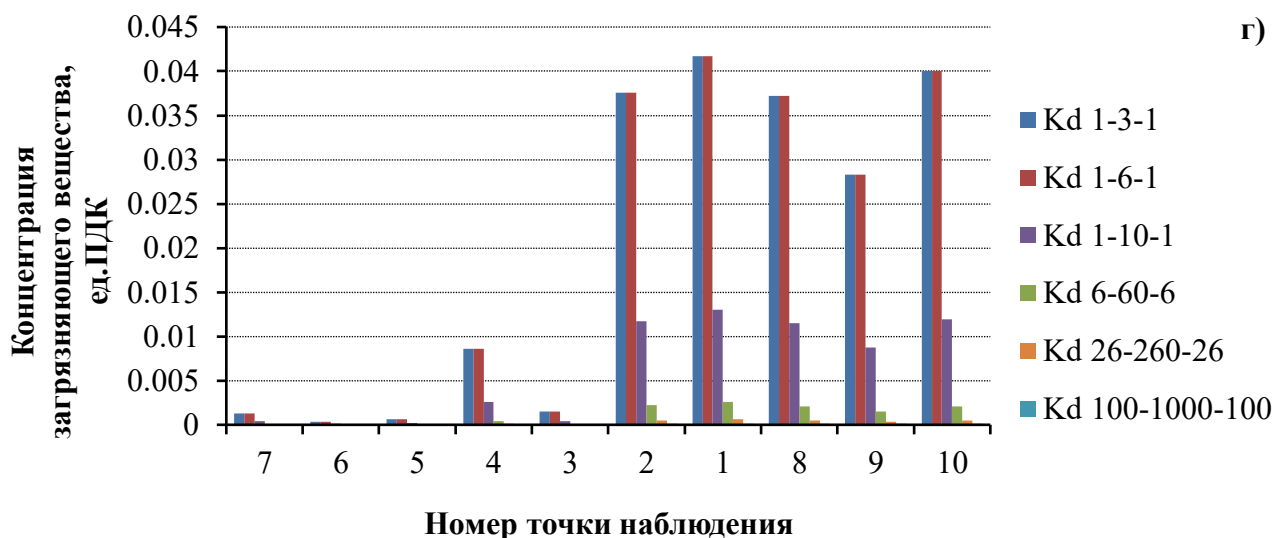


Рис. 6г. Распределение концентраций ЗВ для разных Kd, разрез II с распадом: г) 300 лет, слой 2. **Fig. 6g.** Distribution of pollutant concentrations for different Kd, section II: г) 300 years, layer 2 with decay.

Во *втором слое – водоупоре* (рис. 7б) **без распада** ЗВ наблюдаются практически только спустя 300 лет с 3.5 ПДК в точке 1, а в предыдущие сроки наблюдаются незначительные концентрации (табл. 1, 2). Концентрации **с распадом** (рис. 7в) очень незначительные: через 300 лет в точке 1 они составляют 0.042 ПДК, для более ранних сроков – от 0.012 до 0.02 ПДК, в остальных точках не превышают 0.005 ПДК, что практически означает наличие только следов ЗВ.

Разрез II-II. Распределение концентраций ЗВ (рис. 8а) **без распада** и **с распадом** в *первом слое* в значительной степени повторяет тенденции изменений, отмеченные в аналогичном слое разреза I (рис. 7а). Отличия отмечаются во *втором слое* (рис. 8б). Если в первом слое максимум концентраций на все расчетные сроки приходился на точку 4 (рис. 8а), то во втором он сместился в точку 2 (рис. 8б) за счет усиления гидродисперсии, т.е. перетекания из других ячеек. При этом максимальное количество ЗВ без распада во втором слое разреза II по отношению к аналогичному слою разреза I уменьшилось с 3.5 (рис. 7б) до 0.1 ПДК (рис. 8б), а количество ЗВ с распадом уменьшилось с 0.04 до 0.02 ПДК. Происходит увеличение, накопление ЗВ **с распадом** во времени: например, в точке 1 через 30 лет после аварии – 0.01 ПДК, а через 300 лет – 0.04 ПДК. ЗВ без распада тоже накапливаются: в точке 10 – от 0.04 ПДК через 30 лет до 0.11 ПДК через 300 лет. Следует отметить, что эти накопления малозначительны, т.е. это только следы.

Сценарий (1-10-1). Разрез I-I. Изменения концентраций ЗВ **с распадом** и **без распада** в *первом слое* (рис. 9) очень незначительны (табл. 1, 2) и повторяют изменения по сценарию (1-6-1), только в точке 11 на 300 лет значения без распада увеличиваются до 3.7 ПДК по сравнению с 2 ПДК в сценарии (1-6-1; рис. 7а), что связано с влиянием гидродисперсии потока за длительный вычислительный срок. Во втором слое наблюдается практически аналогичная ситуация, что и в первом.

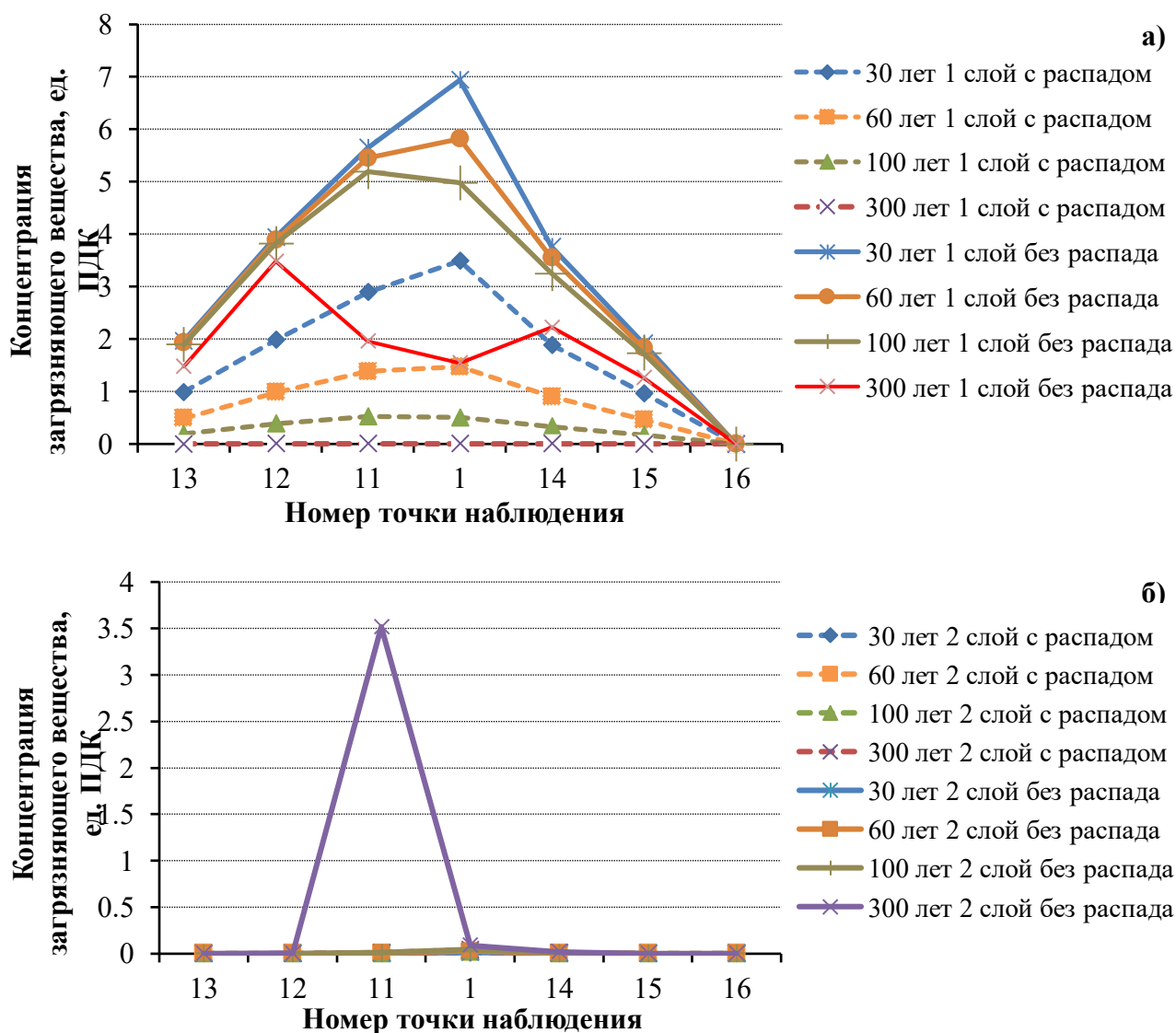


Рис. 7а, б. Сценарий Kd 1-6-1, распределение концентраций ЗВ по времени: а) разрез I; б) разрез I, слой 2, без распада. **Fig. 7a, б.** Scenario Kd 1-6-1, distribution of pollutant concentrations depending on time: а) section I; б) section I layer 2 without decay.

Разрез II-II. Изменения концентраций ЗВ с распадом и без распада в *первом слое* (рис. 10а) практически полностью незначительны (табл. 1, 2.) и повторяют изменения концентраций по сценарию (1-6-1), только в точке 9 за 60 лет значения без распада увеличиваются до 6.7 ПДК по сравнению с 4.2 ПДК в сценарии (1-6-1; рис. 7а), что связано с влиянием гидродисперсии потока. Во *втором слое* наблюдается практически аналогичная ситуация, что и в первом. Происходит увеличение и накопление ЗВ (рис. 10б) **с распадом** во времени: например, в точке 1 через 30 лет после аварии – 0.006 ПДК, а через 300 лет – 0.013 ПДК. ЗВ **без распада** тоже накапливаются: например, в точке 10 – от 0.008 ПДК через 30 лет до 0.065 ПДК через 300 лет.

Сравнивая данные с предыдущим сценарием, можно сказать, что в данном сценарии отмечается снижение накопления ЗВ за счет увеличения задерживающей силы проникновения ЗВ в водоупор. Например, в точке 10 за 300 лет по сценарию (1-6-1)

накопилось 0.11 ПДК **без распада**, а по сценарию (1-10-1) – 0.065 ПДК; **с распадом** по сценарию (1-6-1) – 0.04 ПДК, по сценарию (1-10-1) – 0.012 ПДК.

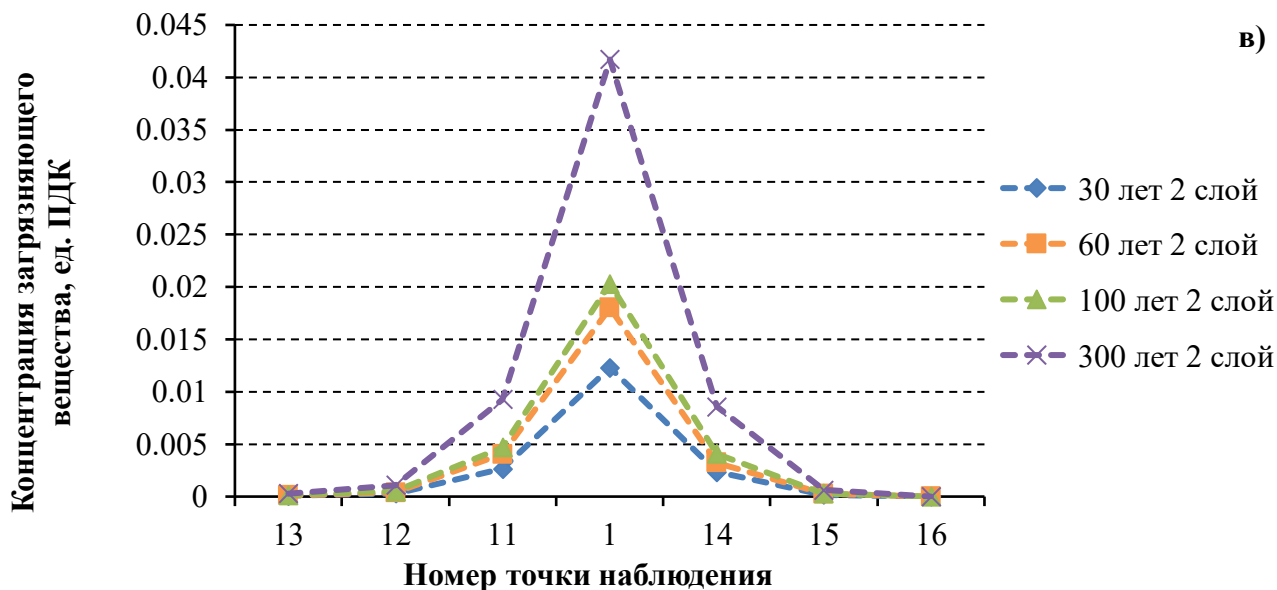


Рис. 7в. Сценарий Kd 1-6-1, распределение концентраций ЗВ по времени: в) разрез I, слой 2, с распадом. **Fig. 7в.** Scenario Kd 1-6-1, distribution of pollutant concentrations depending on time: в) section I layer 2 with decay.

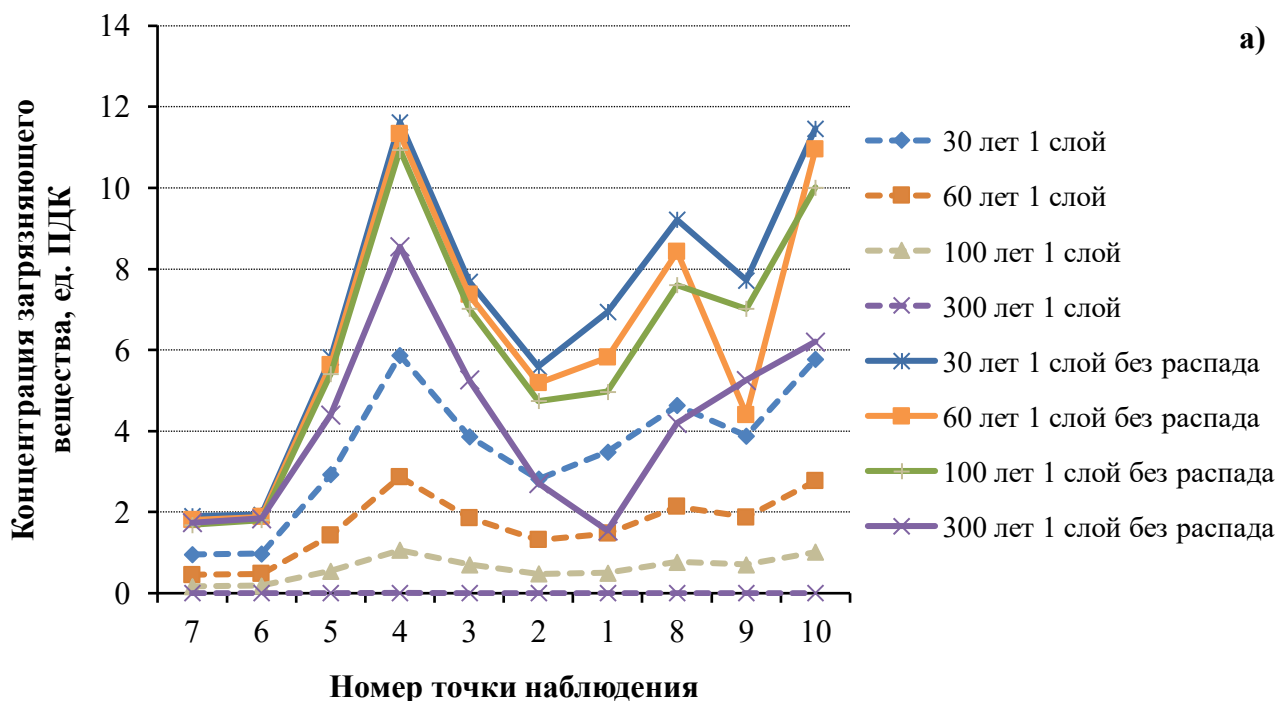


Рис. 8а. Сценарий Kd 1-6-1, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез II: а) слой 1. **Fig. 8а.** Scenario Kd 1-6-1, distribution of pollutant concentrations depending on time: а) section II, layer 1.

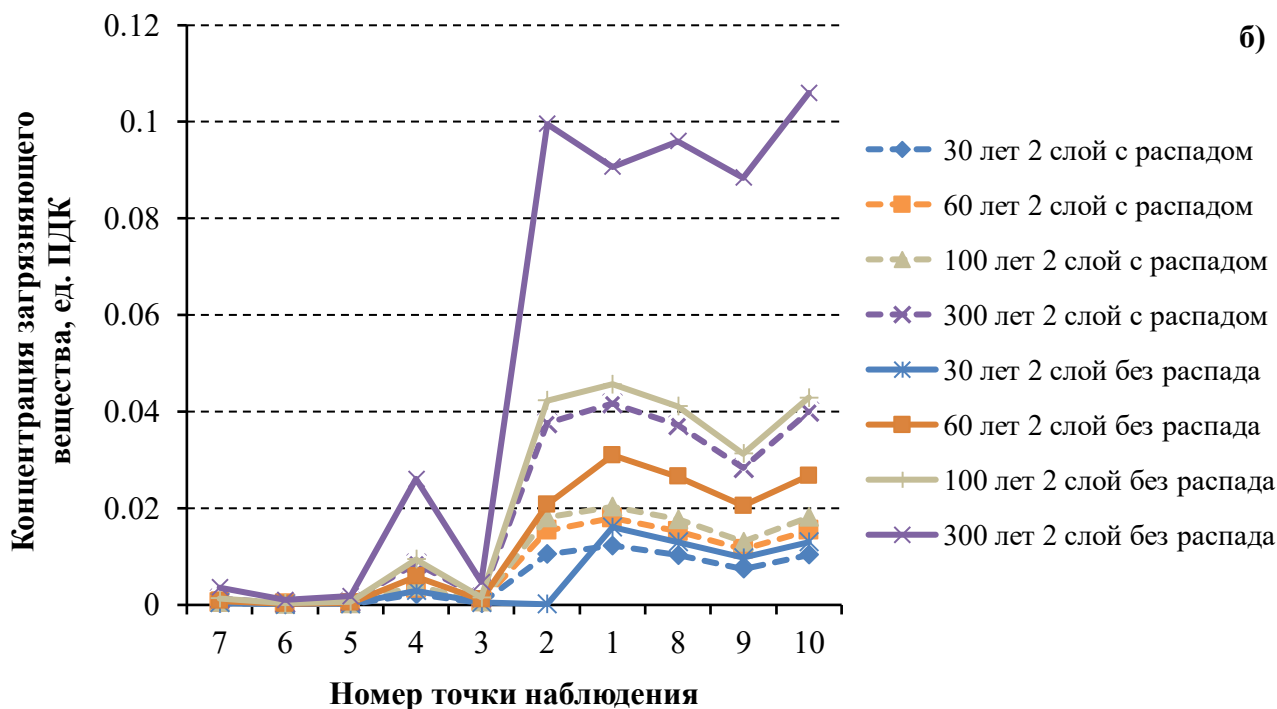


Рис. 86. Сценарий Kd 1-6-1, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез II: б) слой 2.
 Fig. 86. Scenario Kd 1-6-1, distribution of pollutant concentrations depending on time: б) section II, layer 2.

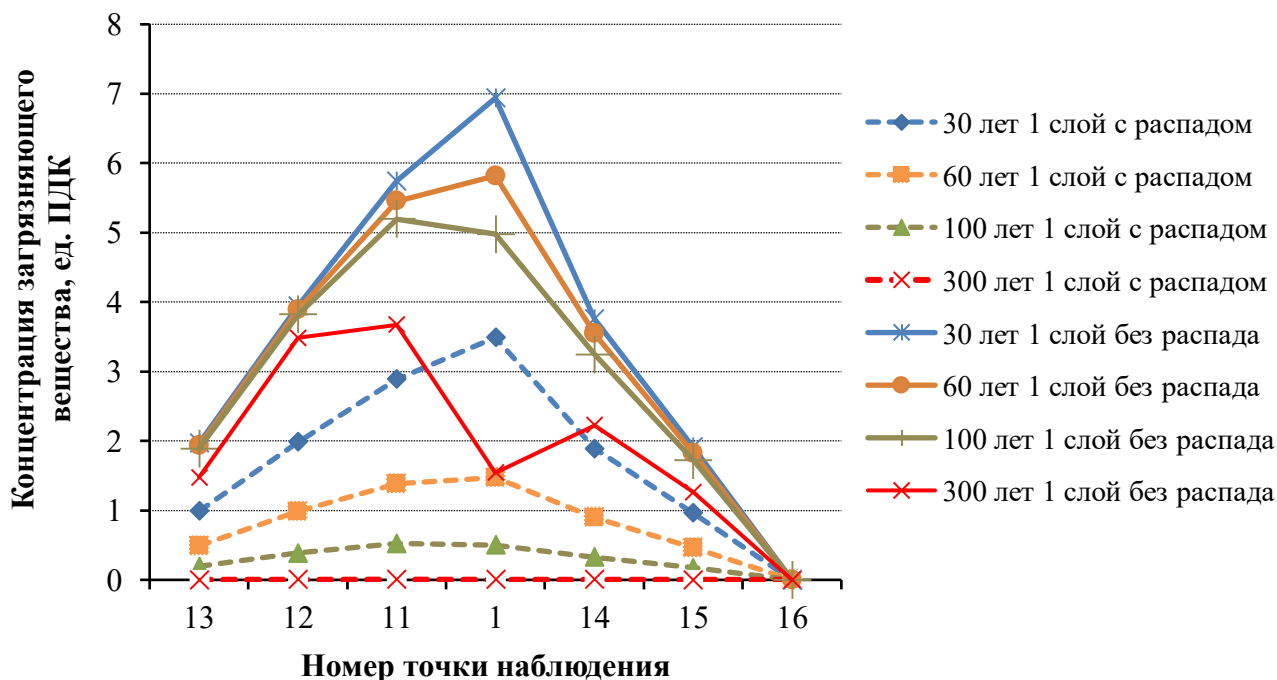


Рис. 9. Сценарий Kd 1-10-1, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез I, слой 1.
 Fig. 9. Scenario Kd 1-10-1, distribution of pollutant concentrations depending on time, section I layer 1.

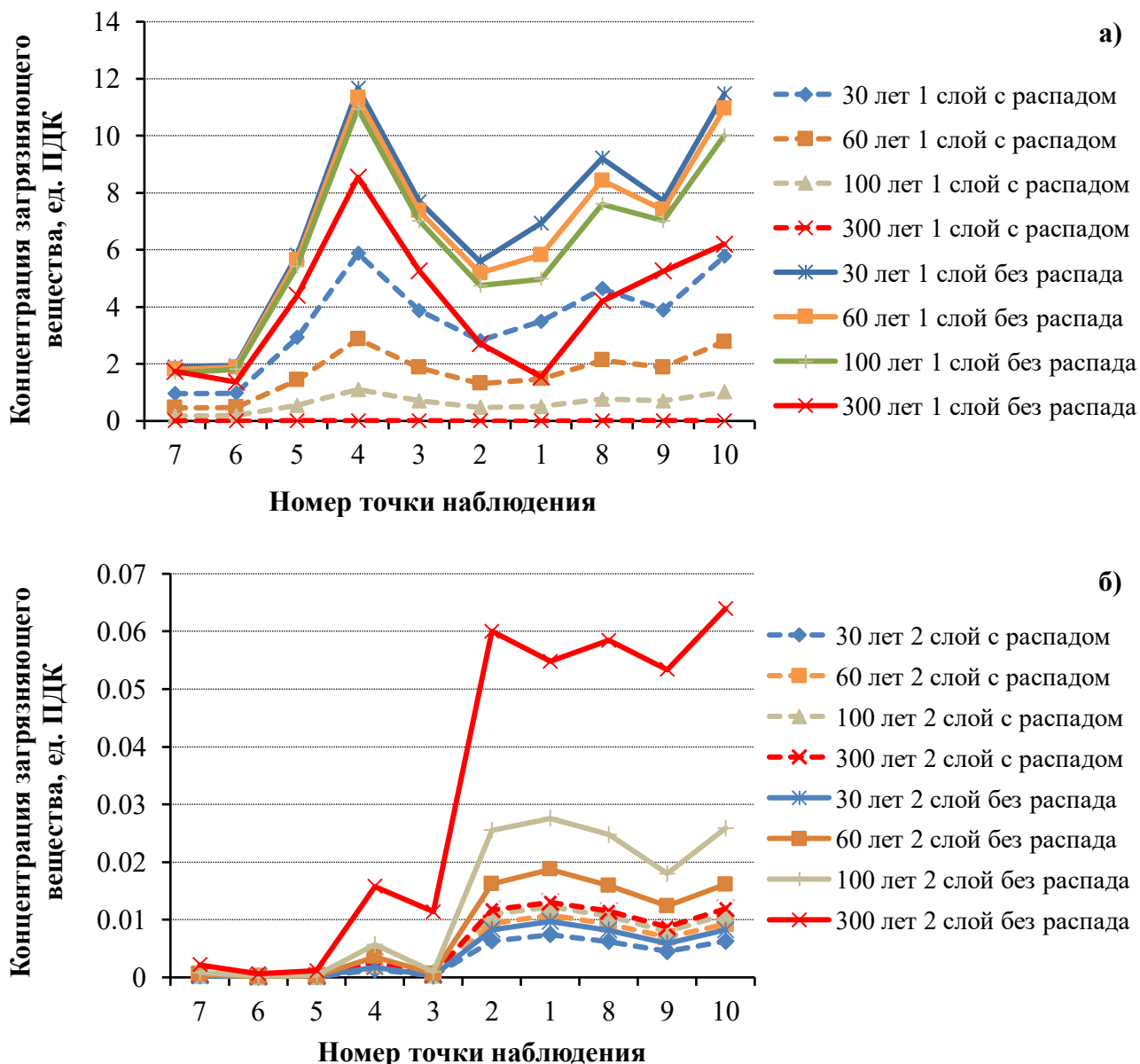


Рис. 10. Сценарий Kd 1-10-1, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез II: а) слой 1, б) слой 2. **Fig. 10.** Scenario Kd 1-10-1, distribution of pollutant concentrations depending on time, section II: а) layer 1, б) layer 2.

Сценарий (6-60-6). Разрез I-I. В *первом слое без распада* (рис. 11а) наблюдается незначительное уменьшение концентрации ЗВ по сравнению с начальными концентрациями. Например, в точке 1 за 30 лет – 7.8 ПДК при начальной 8 ПДК, **с распадом** – 3.5 ПДК (роль распада). Это свидетельствует о значительной задержки ЗВ в первом слое за счет увеличения процесса сорбции при больших Kd как в первом, так и втором (водоупоре) слоях.

Во *втором слое* (рис. 11б) отмечается уменьшение концентраций ЗВ. Например, ПДК в точке 1 **без распада** за 300 лет составляет 0.016, а в сценарии (1-6-1; рис. 7б) – 3.5 ПДК, **с распадом** – 0.0025 ПДК и 0.042 ПДК при сценарии (1-6-1; рис. 7в).

Разрез II-II. В *первом слое без распада* (рис. 12а), как и в разрезе I, наблюдается незначительное уменьшение концентрации ЗВ по сравнению с начальными концентрациями на все расчетные сроки. Например, в точке 12 за 30 лет – 11.8 ПДК при начальной 12 ПДК,

с распадом – 5.5 ПДК (роль распада). Это свидетельствует о значительной задержки ЗВ в первом слое за счет увеличения роли процесса сорбции при больших K_d в обоих слоях. Во *втором слое* (рис. 12б) отмечается уменьшение концентраций ЗВ: например, в точке 1 без распада за 300 лет – 0.016 ПДК, а в сценарии (1-6-1; рис. 7б) – 3.5 ПДК, с распадом – 0.0015 ПДК и 0.042 ПДК при сценарии (1-6-1; рис. 7в). В целом соблюдаются тенденции изменения концентраций ЗВ, аналогичные сценарию (1-6-1), только в точке 1 концентрация без распада сделала скачок до 0.009 ПДК за 60 лет после аварии. Здесь проявляется влияние гидродисперсии потока подземных вод в области их питания (рис. 2).

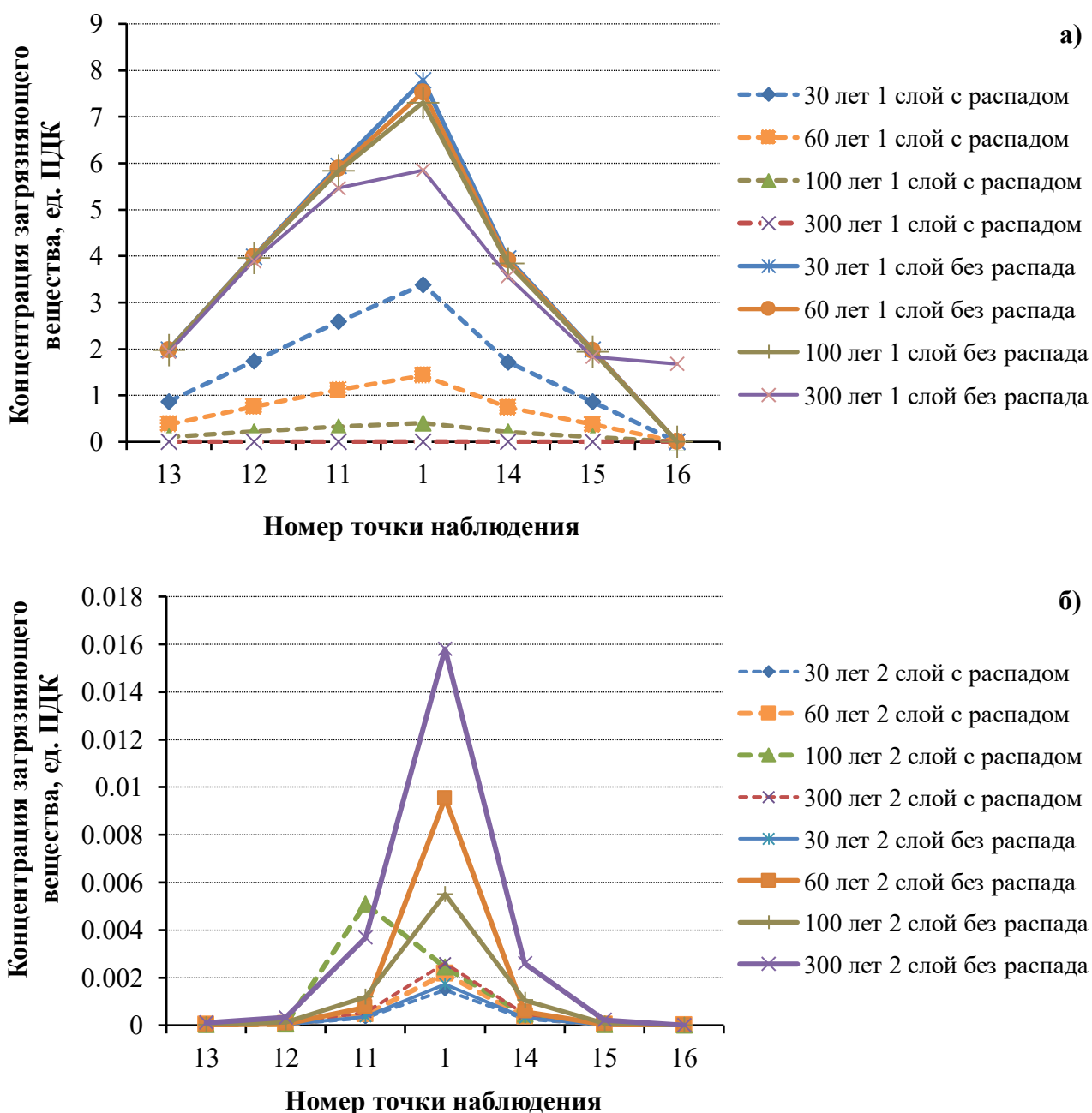


Рис. 11. Сценарий K_d 6-60-6, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез I: а) слой 1, б) слой 2. Fig. 11. Scenario K_d 6-60-6 Distribution of pollutant concentrations depending on time, section I: a) layer 1, б) layer 2.

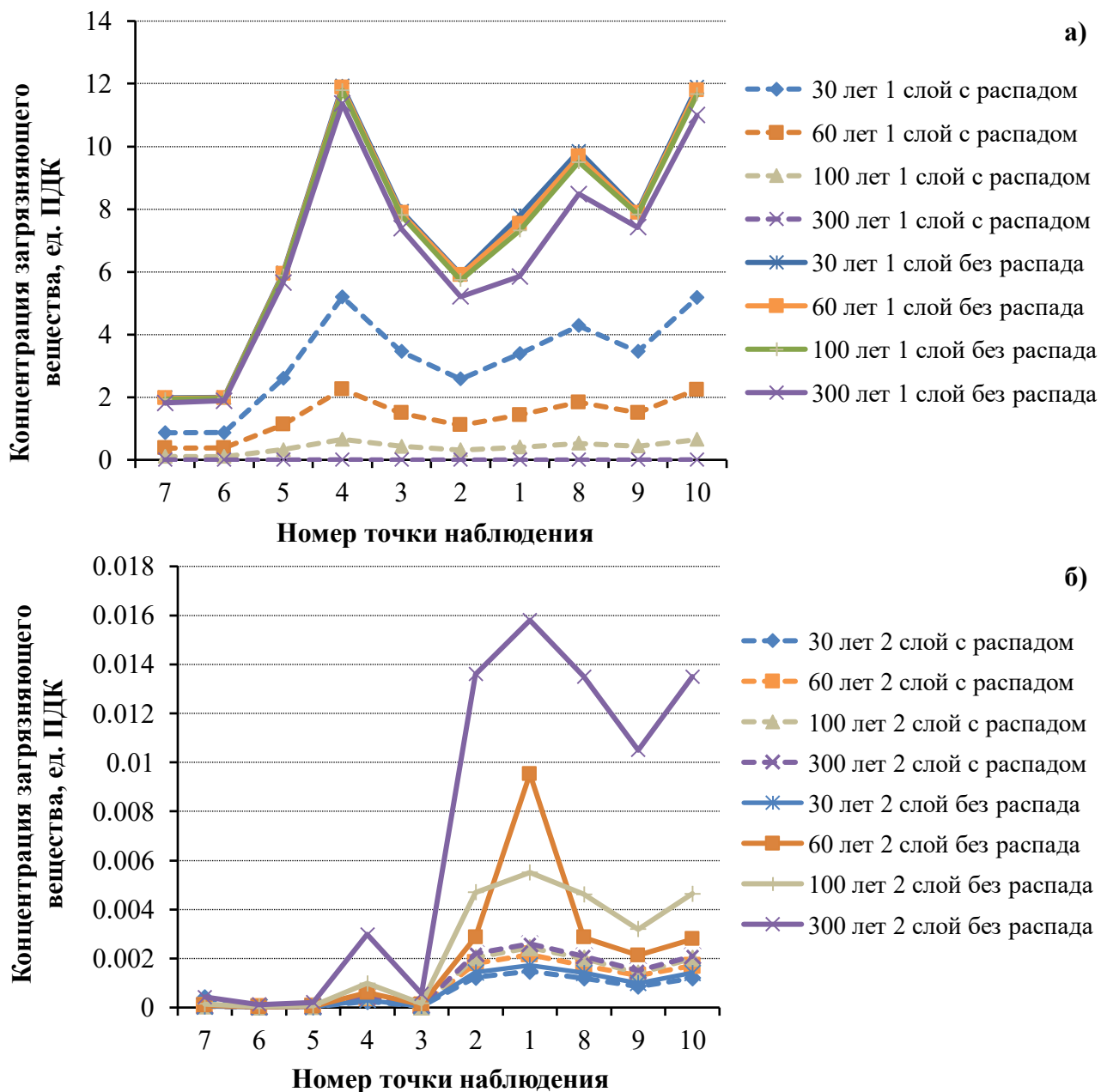


Рис. 12. Сценарий Kd 6-60-6, распределение концентраций ЗВ по времени, разрез II: а) слой 1, б) слой 2. **Fig. 12.** Scenario Kd 6-60-6, distribution of pollutant concentrations depending on time, section II: a) layer 1, б) layer 2.

Дальнейшее рассмотрение результатов моделирования по сценариям (26-260-26) и (100-1000-100) не имеет смысла, т.к. все ЗВ концентрируются в первом слое, а во втором (водоупоре) практически обнуляются (табл. 1, 2), что свидетельствует о полной непроницаемости водоупора в пределах рассматриваемых разрезов.

Обсуждение результатов площадного моделирования

Результаты площадного моделирования процессов миграции ЗВ на исследуемой территории представлены на рисунке 13. Моделирование проводилось по двум сценариям:

(1-3-1) для слабо сорбируемых ЗВ и (100-1000-100) для сильно сорбируемых, без распада и с распадом, по первому слою – грунтовые воды, по второму слою – водоупор, на два расчетных срока – 30 и 300 лет.

За начальное загрязнение грунтовых вод в условиях данного численного эксперимента было принято поверхностное загрязнение радионуклидом ^{137}Cs юга Калужской области после аварии на ЧАЭС. Как видно на рисунке 1, конфигурация загрязнения представляет собой два обособленных участка – западный и восточный – на территории радиоактивного следа, где концентрации радионуклида превышают ПДК более чем в 10 раз.

Миграция слабо сорбируемых ЗВ по сценарию 1-3-1 без распада на всей изучаемой территории (рис. 13.1). **Через 30 лет** в *первом слое* (А) конфигурации площадного загрязнения сохраняется, максимальное загрязнение уменьшается до 9 ПДК; во *втором слое* (Б) она сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его степень уменьшается до 0.045 ПДК.

Через 300 лет в *первом слое* (В) конфигурации площадного загрязнения значительно изменяется, в большей степени сохраняется западный участок, максимальное загрязнение уменьшается до 7 ПДК; во *втором слое* (Г) она сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его степень увеличивается по сравнению с концентрацией за 30 лет – до 0.8 ПДК.

Миграция сильно сорбируемых ЗВ по сценарию 100-1000-100 без распада (рис. 13.2). **Через 30 лет** в *первом слое* (А) конфигурации площадного загрязнения практически отвечает начальному загрязнению (рис. 1), максимальное загрязнение превышает 10 ПДК; во *втором слое* (Б) конфигурация сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на незначительной территории на восточном участке, а его степень уменьшается до 0.0003 ПДК.

Через 300 лет в *первом слое* (В) конфигурации площадного загрязнения мало изменяется, максимальное загрязнение уменьшается до 9 ПДК; во *втором слое* (Г) она сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его степень увеличивается по сравнению с концентрацией за 30 лет до 0.04 ПДК.

Миграция сильно сорбируемых ЗВ по сценарию 1-3-1 с распадом (рис. 13.3). **Через 30 лет** в *первом слое* (А) конфигурации площадного загрязнения сохраняется, но максимальное загрязнение уменьшается до 4.5 ПДК; во *втором слое* (Б) конфигурация сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его степень уменьшается до 0.02 ПДК.

Через 300 лет в *первом слое* (В) конфигурация площадного загрязнения значительно изменяется, незначительное загрязнение в виде ограниченного участка держится на восточном участке до 0.02 на фоне 0.004 ПДК. Во *втором слое* (Г) она сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его площадь уменьшается по сравнению с площадью за 30 лет, ПДК увеличивается до 0.04.

Миграция сильно сорбируемых ЗВ по сценарию 100-1000-100 с распадом (рис. 13.4). **Через 30 лет** в *первом слое* (А) конфигурации площадного загрязнения практически отвечает начальному загрязнению (рис. 1), но максимальное загрязнение превышает 3.6 ПДК; во *втором слое* (Б) конфигурация сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на незначительной территории восточного участка, а его степень уменьшается до 0.0003 ПДК.

Через 300 лет в *первом слое* (В) конфигурация площадного загрязнения мало изменяется, максимальное загрязнение уменьшается до 0.0009 ПДК; во *втором слое* (Г) она сильно изменяется, загрязнение появляется в основном на восточном участке, а его степень уменьшается до 0.0004 ПДК.

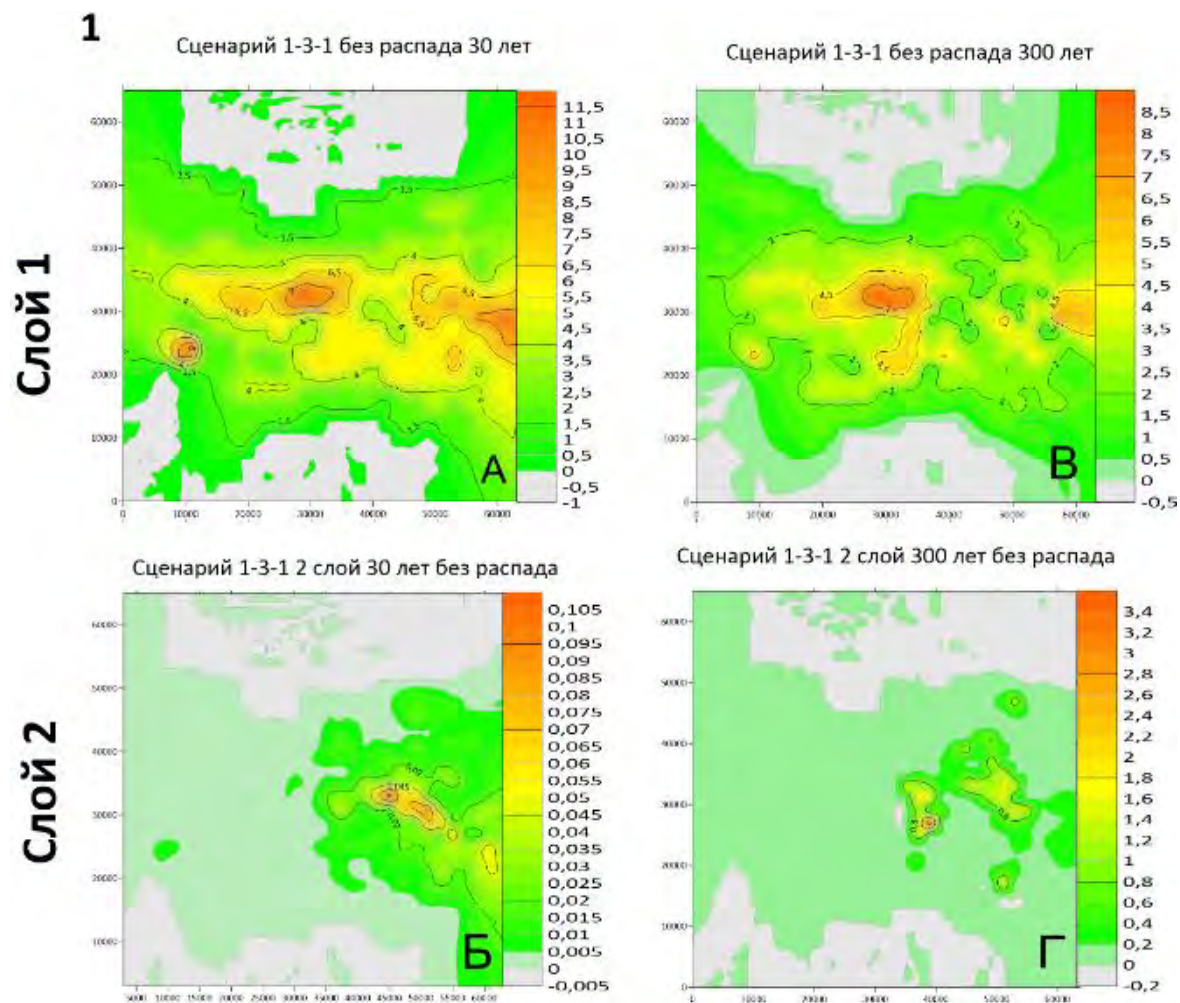


Рис. 13.1. Картосхема распределения концентраций слабо сорбируемого (сценарий 1-3-1) и сильно сорбируемого (100-1000-100) ЗВ на моделируемом участке с распадом и без распада. **Fig. 13.1.** Cartographic chart of the distribution of concentrations of weakly sorbed (Scenario 1-3-1) and strongly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

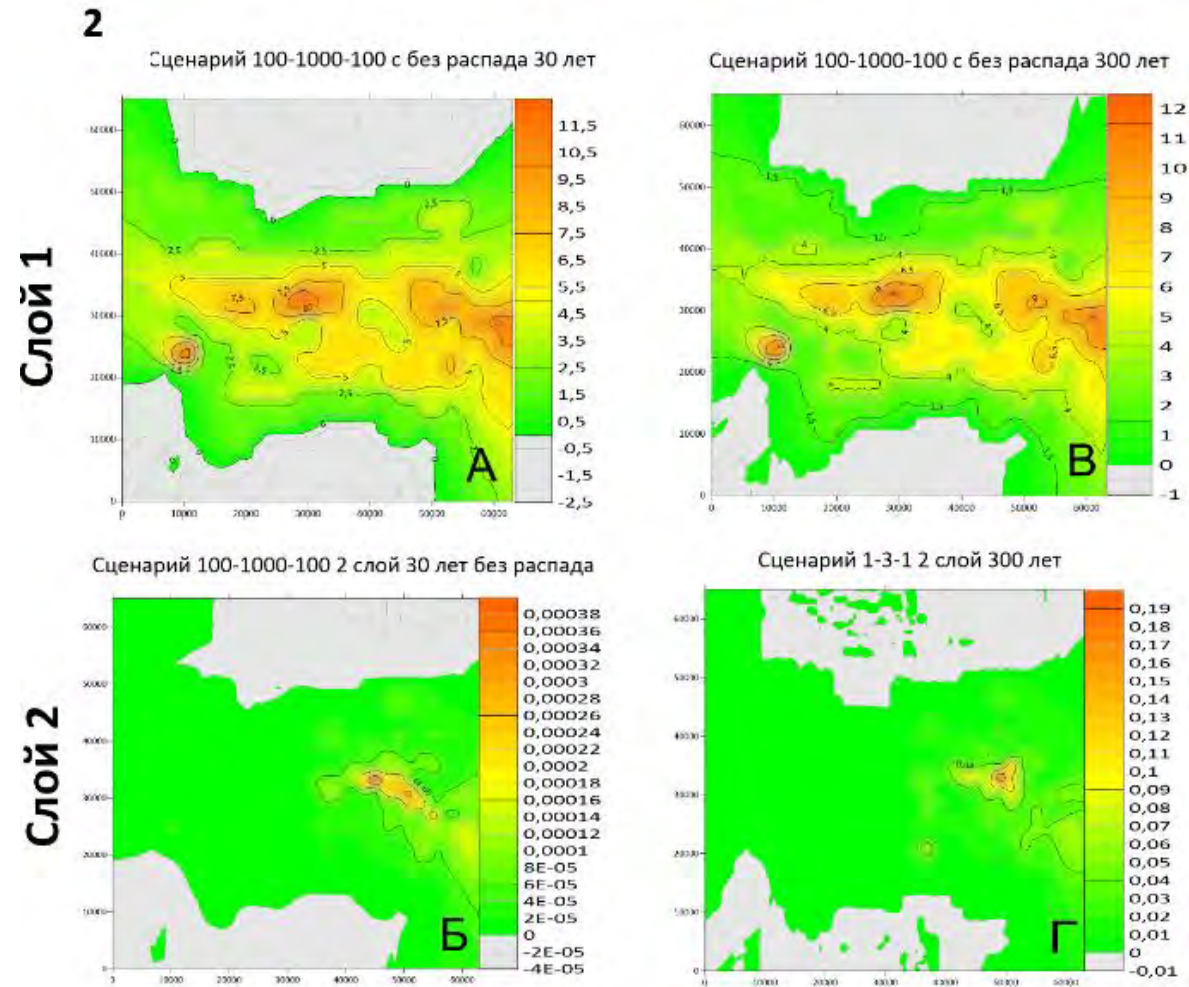


Рис. 13.2. Картосхема распределения концентраций слабо сорбируемого (сценарий 1-3-1) и сильно сорбируемого (100-1000-100) ЗВ на моделируемом участке с распадом и без распада. **Fig. 13.2.** Cartographic chart of the distribution of concentrations of weakly sorbed (Scenario 1-3-1) and strongly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

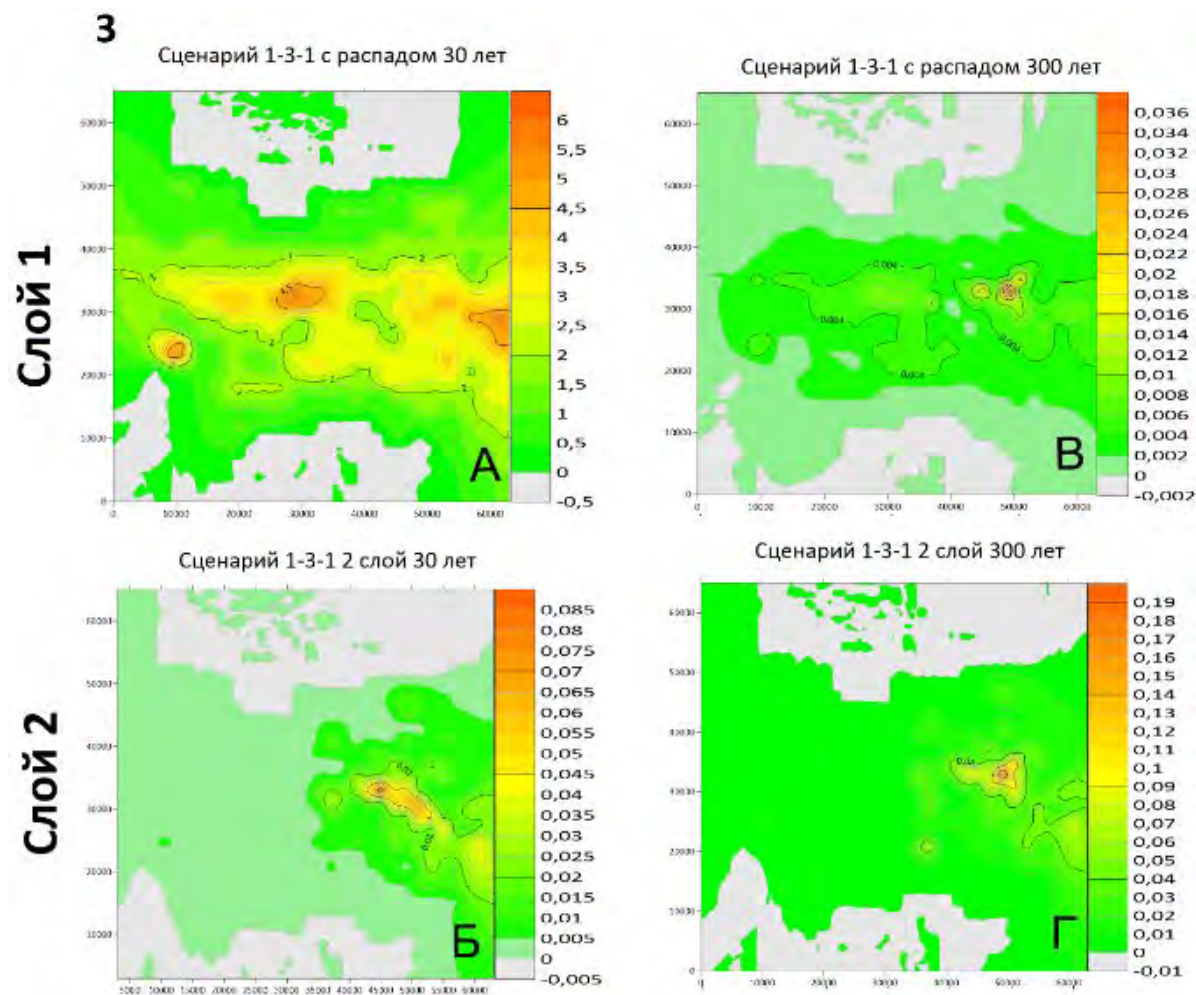


Рис. 13.3. Картосхема распределения концентраций слабо сорбируемого (сценарий 1-3-1) и сильно сорбируемого (100-1000-100) ЗВ на моделируемом участке с распадом и без распада. **Fig. 13.3.** Cartographic chart of the distribution of concentrations of weakly sorbed (Scenario 1-3-1) and strongly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

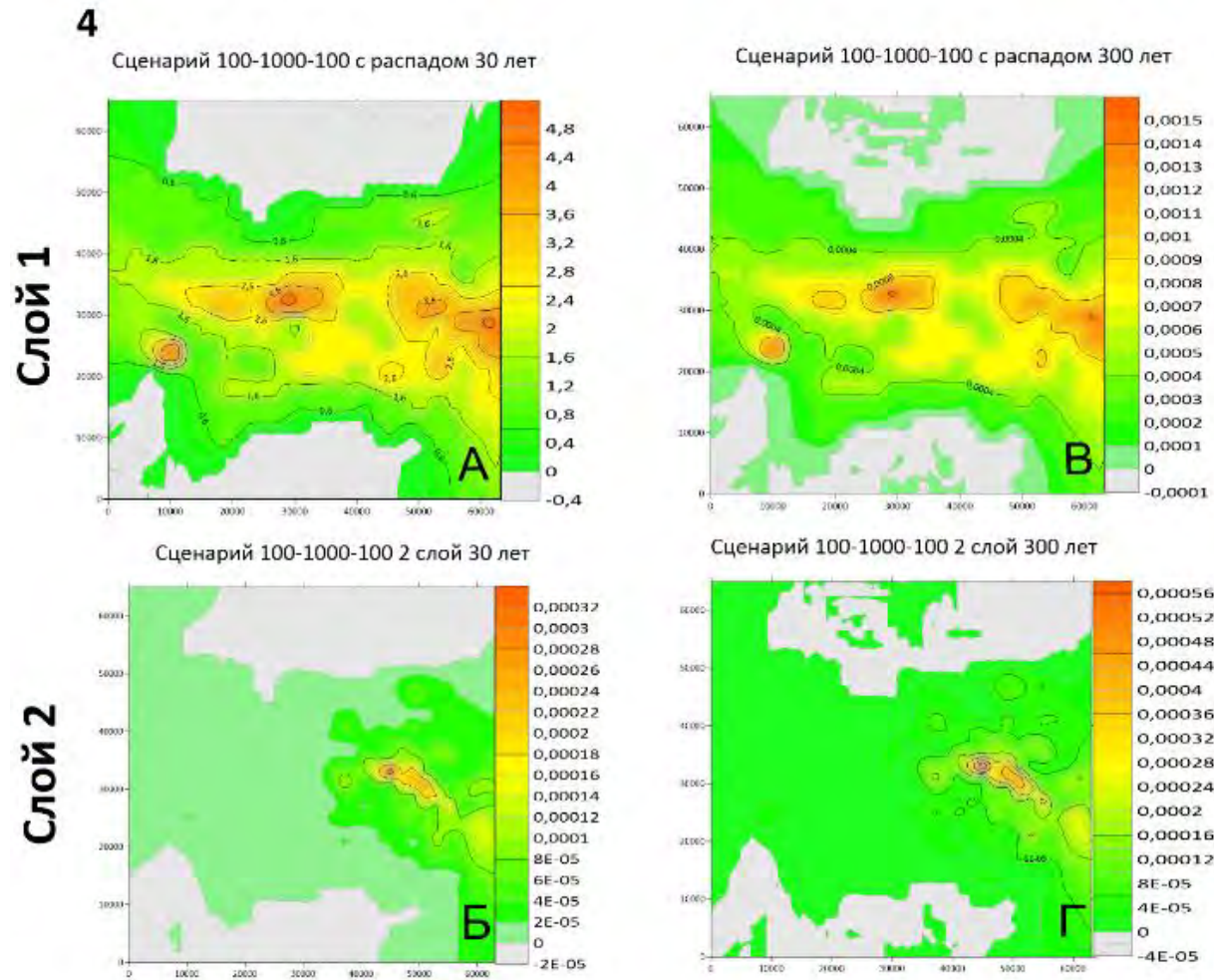


Рис. 13.4. Картосхема распределения концентраций слабо сорбируемого (сценарий 1-3-1) и сильно сорбируемого (100-1000-100) ЗВ на моделируемом участке с распадом и без распада. **Fig. 1.4.** Cartographic chart of the distribution of concentrations of weakly sorbed (Scenario 1-3-1) and strongly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

Таким образом, слабо сорбируемые ЗВ *без распада* через 300 лет сохраняются на западном участке в первом слое, а ЗВ восточного участка в большей степени мигрируют и задерживаются *во втором слое – водоупоре* в незначительных количествах.

Сильно сорбируемые ЗВ *без распада* через 300 лет сохраняются на обоих участках в первом слое, причем концентрация их незначительно отличается от 30-летнего периода, а во втором слое они занимают незначительную площадь восточного участка в незначительных концентрациях.

Слабо сорбируемые ЗВ *с распадом* через 300 лет практически не сохраняются на всей площади исследуемой территории, а встречаются в виде незначительных следов на восточном участке в первом слое, а во втором слое на восточном участке отмечается незначительная площадь с ЗВ в незначительных количествах.

Сильно сорбируемые ЗВ *с распадом* через 300 лет сохраняются на обоих участках в первом слое, причем концентрация их значительно отличается от 30-летнего периода, уменьшаясь до 0.0009 ПДК, что соответствует очень незначительным величинам – следам, а во втором слое ЗВ занимают незначительную площадь восточного участка в незначительных концентрациях.

Это свидетельствует о том, что радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr за 10 периодов полураспада полностью распадаются.

Сравнение результатов данного этапа исследований с предыдущим этапом исследований

Рассмотрим особенности миграции ЗВ через проницаемый водоупор, ранее нами изученные (Белюсова, Руденко, 2021а, 2021б), и особенности миграции ЗВ, проведенные на данном этапе исследований. Результаты моделирования ранее проведенных и настоящих исследований приведены на 3D картах (рис. 14).

При исследовании с проницаемым водоупором Kd (рис. 14А) задавались равными для всех трех слоев (6-6-6), с непроницаемым Kd (рис. 14Б) задавалось больше чем в подземных водах первого и третьего слоя (1-3-1).

При *проницаемом водоупоре* (рис. 14А) миграция ЗВ *без распада* за 300 лет происходит во всех трех слоях. В первом слое (грунтовые воды) концентрация не превышает 4 ПДК, во втором слое происходит довольно интенсивное накопление с концентрацией до 4 ПДК, в третьем слое (напорные воды) происходит накопление загрязнения вод на отдельных участках с ЗВ до 2 ПДК.

При *непроницаемом водоупоре* (рис. 14Б) *без распада* за 300 лет интенсивность миграции ЗВ сильно изменяется во всех слоях. В первом слое происходит накопление значительных концентраций более 5 ПДК, во втором процесс значительно обособляется и уменьшается по площади, а ПДК уменьшается до 3, в третьем слое имеет ограниченное распространение в незначительных концентрациях до 0.05 ПДК. Следует отметить, что на рассмотренных нами разрезах ни в одной из точек в третьем слое миграция ЗВ практически не наблюдается.

Выводы

Объектом исследований является часть территории Калужской области наиболее пострадавшая от аварии на Чернобыльской атомной станции.

Экспериментальных данных о процессах миграции радионуклидов и их параметрах в насыщенной зоне – подземных водах практически нет, слабая изученность отмечается только в некоторых районах в зоне радиоактивного следа от аварии на ЧАЭС на территории Брянской области и они в большей степени относятся к ненасыщенной, защитной зоне.

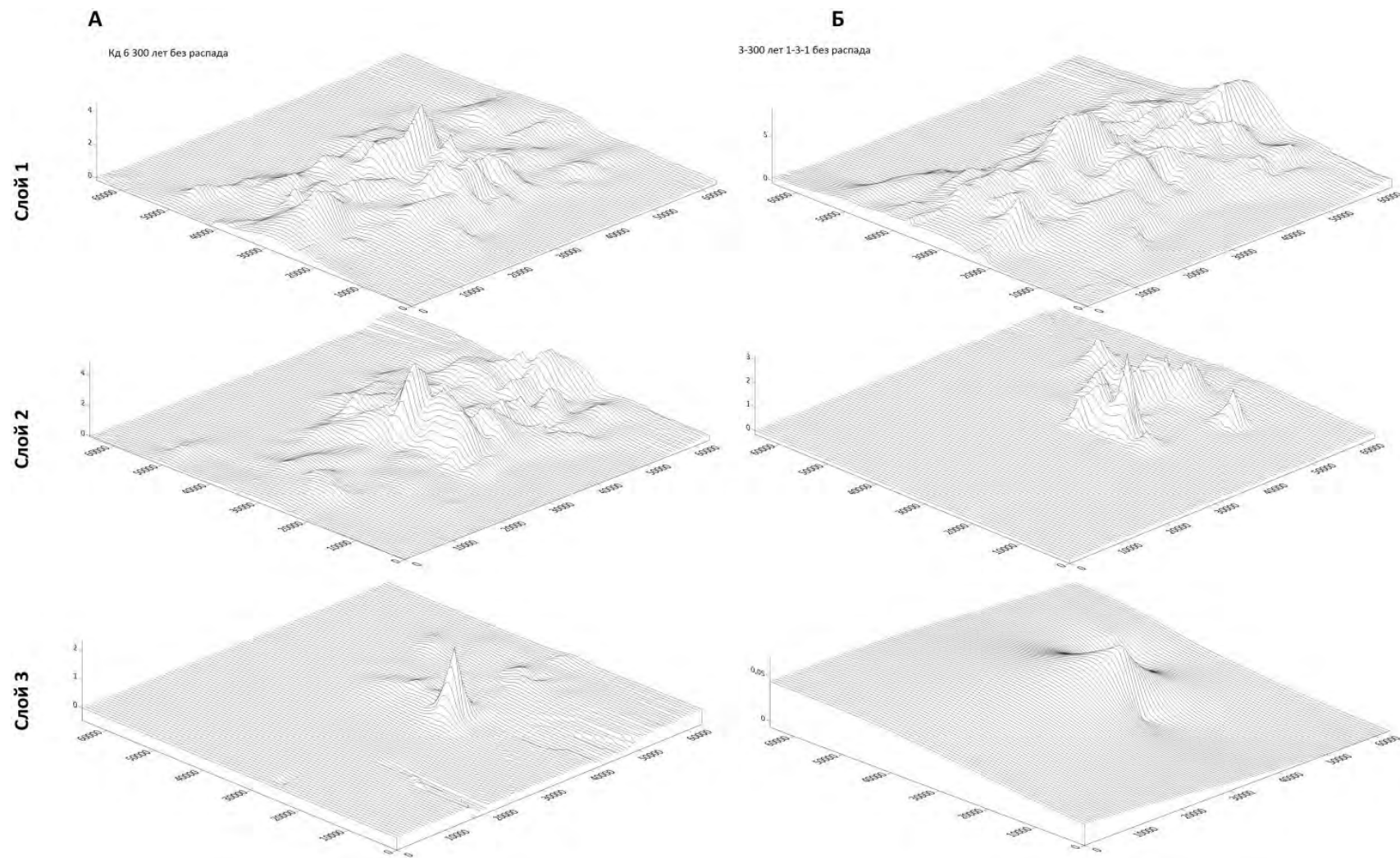


Рис. 14. Сравнение сценариев с проницаемым (А) и непроницаемым (Б) водоупорами.
Fig. 14. Comparison of scenarios with permeable (A) and impermeable (B) aquiclude.

Поэтому нами были выбраны не полевые или лабораторные пути исследований, а численные экспериментальные исследования, т.е. численные эксперименты, на изучаемой территории Калужской области в зоне радиоактивного следа.

Численные эксперименты направлены на изучение миграции ЗВ в насыщенной зоне – из грунтовых вод через водоупор в напорные подземные воды. При этом рассматривались не только радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , но и другие ЗВ, от слабо до сильно сорбируемых, которые наблюдаются в напорных водах изучаемого объекта.

Для моделирования процесса массопереноса в подземных водах была выбрана модель MT3D, которая работает на основе транспортной модели MODFLOW. Наряду с процессами гидродисперсии потоков она позволяет учитывать сорбцию ЗВ и радиоактивный распад.

Учитывая, что степень геологической, гидрогеологической и гидрогеохимической изученности выбранного нами объекта не позволяет обеспечить достаточную достоверность прогнозов, что особенно касается водоупоров, исследование было осуществлено в два этапа. Результаты первого этапа, миграция ЗВ через проницаемый водоупор, приведены в наших предыдущих работах (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б), а результаты второго этапа, миграция ЗВ через непроницаемый водоупор, приведены в данной статье.

Численные эксперименты второго этапа проводилось по следующим сценариям: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100), где первая цифра – значение K_d (л/кг) в первом слое, вторая – значение K_d во втором слое и третья – значение K_d в третьем слое. Такой подбор коэффициентов распределения обусловлен заданием их значений на порядок больше в водоупоре, чем в верхнем и нижнем водоносных горизонтах. Каждый сценарий проводился для двух условий: с радиоактивным распадом и без него.

За начальные условия была принята степень загрязнения грунтовых вод по аналогии со степенью загрязнения поверхности земли в зоне радиоактивного следа на изучаемой территории, хотя, в природных условиях на этой территории в грунтовых водах такого распространения загрязнения ни радионуклидами, ни другими ЗВ не наблюдается. Концентрации ЗВ могут быть заданы в г/л, ПДК, фоновых концентрациях, в нашем случае использовались ПДК. Коэффициенты распределения сорбции (K_d) различных ЗВ подбирались из известных значений для территорий Брянской области (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б), для радионуклидов значения K_d в основном относятся к ненасыщенной зоне.

Анализ результатов моделирования в рамках численных экспериментов проводился для двух разрезов и в целом по изучаемому объекту по картам.

Установлено, что по мере увеличения K_d в грунтовых водах сохраняется наибольшее количество ЗВ, а вещества с минимальными K_d (слабо сорбируемые) частично оседают в водоупоре. Следует отметить, что в третьем слое (в напорных водах) ЗВ в точках разрезов не обнаружены, хотя в других точках они появляются (о чем будет сказано ниже).

По значениям K_d установлено, что при K_d более 60 л/кг ЗВ в водоупор не проникают, т.е. водоупор практически «абсолютно» не проницаемый. Для радионуклидов главную роль в процессе миграции играет радиоактивный распад, когда в первые 30 лет после аварии на ЧАЭС концентрация радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr уменьшилась вдвое, т.к. этот срок соответствует их периоду полураспада, а в дальнейшие 300 лет они полностью распадутся. Для нерадиоактивных ЗВ процесс происходит иначе: они будут накапливаться в водоупорной толще и проникать в напорные воды, что в значительной мере ухудшает экологическую ситуацию, хотя другие долгоживущие радионуклиды (например, плутоний-209) имеют период полураспада 24095 лет и будут представлять очень серьезную опасность там, где после аварии выпали фрагменты ядерного топлива (т.е. в районе самой ЧАЭС).

Главными факторами формирования процессов миграции ЗВ являются в первую очередь их радиоактивный распад, во вторую – их сорбционные свойства, а в третью –

гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории.

Сравнение результатов 2 этапов исследований. При *проницаемом водоупоре* миграция ЗВ без распада за 300 лет происходит во всех трех слоях. При *непроницаемом водоупоре* без распада за 300 лет интенсивность миграции сильно изменяется во всех слоях: в первом происходит накопление значительных концентраций, во втором – процесс значительно обособляется и уменьшается по площади и концентрации, а в третьем – имеет ограниченное распространение.

Рассматривая два варианта водоупоров, можно сказать, что в природных условиях ни тот, ни другой практически не могут существовать отдельно, т.к. обычно водоупорные толщи состоят из различных участков, имеющих как непроницаемые, так и проницаемые водоупоры, представляющие в некотором смысле лоскутное одеяло. Водоупоры не могут быть непроницаемыми на всем своем протяжении, т.к. в их составе есть природные нарушения (линзы, прослои проницаемых пород, неотектонические трещины) и техногенные нарушения (скважины, колодцы).

Из этого следует сделать следующий вывод: для изучения процессов миграции ЗВ и прогнозирования их дальнейшего развития в сложных гидрогеологических условиях необходимо детальное изучение геологического и гидрогеологического строения, а также гидрогеохимических условий изучаемых объектов и проведение экспериментальных исследований массопереноса с целью параметризации всех процессов, обуславливающих его, для последующего численного моделирования и прогнозирования развития реальной экологической ситуации на объектах исследований.

Благодарности. Авторы выражают благодарность безвременно ушедшей сотруднице Миняевой Ю.В. за подготовку материалов к данной статье.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем РАН: тема № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Антонов К.А., Кирьякова Е.А., Руденко Е.Э. 2013. Моделирование процесса геофильтрации на участке Калужской области (в зоне радиоактивного следа) // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: VII международная конференция молодых ученых и талантливых студентов, 11-13 декабря 2013 г. М.: ИВП РАН. С. 121-125. 2. Белоусова А.П. 2015. Оценка опасности загрязнения подземных вод как компонента окружающей среды // Вода: химия и экология. № 12. С. 31-40. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Antonov KA, Kiryakova EA, Rudenko EE. Modeling the process of geofiltration in the Kaluga region (in the zone of the radioactive trace) [<i>Modelirovaniye protsessa geofil'tratsii na uchastke Kaluzhskoy oblasti (v zone radioaktivnogo sleda)</i>] <i>Water resources, ecology and hydrological safety [Vodnyye resursy, ekologiya i gidrologicheskaya bezopasnost'] VII international conference of young scientists and talented students, December 11-13, 2013 [VII mezhdunarodnaya konferentsiya molodykh uchenykh i talantlivykh studentov]</i>. Moscow: IVP RAN, 2013:121-125. 2. Belousova AP. Assessment of the risk of groundwater pollution as a component of the environment [<i>Otsenka opasnosti zagryazneniya podzemnykh vod kak komponenta okruzhayushchey</i> |
|---|--|

3. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2019. Эколого-гидрогеологические исследования на территориях европейской части России, пострадавших от аварии на ЧАЭС // *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. Производственно-технический журнал.* № 4 (136). С. 38-56.
4. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2020. Трансформация уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению в зоне Чернобыльского следа на территории Калужской области // *Экосистемы: экология и динамика.* Т. 4. № 1. С. 18-103.
5. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2021а. Моделирование процессов перетекания загрязненных грунтовых вод в напорные в лесных экосистемах на примере Калужской области в зоне радиоактивного следа // *Экосистемы: экология и динамика.* Т. 5. № 3. С. 147-182. [*Belousova A.P., Rudenko E.E.* 2021a. Modeling of the polluted groundwater flow into confined water in the forest ecosystems by the example of the Kaluga Region in the radioactive contamination zone // *Ecosystems: Ecology and Dynamics.* Vol. 5. No. 3. P. 192-224.]
6. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2021б. Оценка условий проникновения загрязняющих веществ, включая радионуклиды, в напорные подземные воды // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. Производственно-технический журнал.* № 3 (159). С. 18-31.
7. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240. 2018 / Ред. С.М. Вакуловский, В.Н. Яхрюшин. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 15 с.
3. Belousova AP, Rudenko EE. Ecological and hydrogeological studies in the territories of the European part of Russia affected by the Chernobyl accident [Ekologo-gidrogeologicheskiye issledovaniya na territoriyakh yevropeyskoy chasti Rossii, postradavshikh ot avarii na CHAES] *Water treatment, water treatment, water supply [Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzheniye] Industrial and technical magazine [Proizvodstvenno-tekhnicheskij zhurnal].* 2019;4 (136):38-56.
4. Belousova AP, Rudenko EE. Transformation of vulnerability of groundwater to radioactive pollution in the Chernobyl track zone in the territory of Kaluga Region [Transformatsiya uyazvimosti gruntovykh vod k radioaktivnomu zagryazneniyu v zone Chernobyl'skogo sleda na territorii Kaluzhskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics.* 2020;4 (1):18-103.
5. Belousova AP, Rudenko EE. Modeling of the polluted groundwater flow into confined water in the forest ecosystems by the example of the Kaluga Region in the radioactive contamination zone. *Ecosystems: Ecology and Dynamics.* 2021a;5 (3):147-182.
6. Belousova AP, Rudenko EE. Evaluation of the conditions for the penetration of pollutants, including radionuclides, into pressure groundwater [Otsenka usloviy proniknoveniya zagryaznyayushchikh veshchestv, vklyuchaya radionuklidy, v napornyye podzemnyye vody] *Vodoochistka. Water Treatment. Water Supply [Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye] Industrial and Technical Magazine [Proizvodstvenno-tekhnicheskij zhurnal].* 2021b;3 (159):18-31.
7. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240 [*Dannyye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naselennykh punktov Rossiyskoy Federatsii tseziyem-137, strontsiyem-90 i plutoniyem-239+240*] / ed. SM. Vakulovsky, V.N. Yakhryushin. Obninsk: FGBU NPO Tayfun, 2018: 15.
8. Radiation situation in Russia and neighboring states in 2018 [*Radiatsionnaya obstanovka na*

8. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году. 2019. Обнинск: НПО «Тайфун». 324 с.
9. Карта радиационной обстановки на территории европейской части СССР по состоянию на декабрь 1990 г. 1991. Плотность загрязнения местности цезием-137. М.: Госкомгидромет СССР. Л. И-35-А.
10. Zheng C., Papadopoulos S.S. 1990. A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Systems Contaminant in Groundwater. The United States Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Inc. Ada, Oklahoma. 231 p.
- territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2018 godu*. Obninsk: FGBU NPO Tayfun, 2019:324.
9. Map of the radiation situation on the territory of the European part of the USSR as of December 1990 [*Karta radiatsionnoy obstanovki na territorii yevropeyskoy chasti SSSR po sostoyaniyu na dekabr' 1990 g.*] *Density of contamination of the area with cesium-137 [Plotnost' zagryazneniya mestnosti tseyem-137]*. Moscow: Goskomgidromet SSSR, 1991:I-35-A.
10. Zheng C, Papadopoulos SS. A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Systems Contaminant in Groundwater. The United States Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Inc. Ada, Oklahoma, 1990:231.

USE OF A NUMERICAL EXPERIMENT IN STUDYING THE MIGRATION OF DIFFERENT POLLUTANTS IN THE GROUNDWATER OF THE KALUGA REGION IN THE AREA OF THE RADIOACTIVE TRACE

© 2023. A.P. Belousova, E.E. Rudenko, K.G. Vlasov

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences

3, Gubkina Str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: anabel@iwp.ru, belanna47@mail.ru

The purpose of this article was to use a mathematical modeling in order to study the migration of various pollutants, including radionuclides, from weakly sorbed to strongly sorbed ones that travel from groundwater to pressure groundwater through a separating layer, an aquiclude, and has varying permeability. Among others, the field of hydrogeological researches performs search and exploration of groundwater deposits. Search is the first stage which is carried out in unexplored territories, followed by exploration, the second stage, which is performed in the promising territories that were revealed during the first stage.

Our studies can be attributed to the first stage, because the territories of our choice, located in the Kaluga Region and affected by the Chernobyl accident, were unexplored. We focused on studying the migration of pollutants from groundwater through the aquiclude of the pressure waters. The direction of our search was determined by the aquiclude's ability to let the pollutants through, which is considered the most unfavorable conditions for groundwater, or its ability to keep the pollutants out, which is considered a favorable condition. However, both of these cases never exist separately in natural and artificial conditions, because they simply merge together, but, in order to study that, a thorough geological and hydrogeological knowledge of the territory is needed, which we do not possess for the study area. Therefore, our research was carried for both cases: in the first one, the aquiclude was assumed to be permeable, while in the second one it was assumed to be impermeable.

For each case, exploratory numerical-experimental studies were carried out using mathematical

modeling. The object of those studies was the part of the Kaluga Region, most affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Studies concerning the first case have been already completed and published by our crew (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b), while the results of the second case and generalizing results of both studies are presented in this article. We studied the migration of various pollutants, including radionuclides, from groundwater through an impermeable aquiclude to the confined aquifer. We used the same profiles that were studied in the first case, but applied slightly modified scenarios and used different coefficients (K_d) of pollutant sorption distribution.

Numerical experiments of the second case were carried out according to the following scenarios: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). The first digit is the K_d value (l/kg) in the 1st layer, the second digit – 2nd layer, the third digit – 3rd layer. This selection of coefficients was determined by the fact that their values were assigned to be higher in the aquiclude than in the upper and lower aquifers.

Each scenario was applied for two conditions: with and without radioactive decay. The starting condition was the contamination degree of groundwater, just like the contamination degree of the ground in the radioactive trace zone of the study area. However, such a spread of contamination by either radionuclides or other pollutants is not actually (in natural conditions) observed in the groundwater of this territory. Pollutant concentrations can be specified in g/l, maximum permissible concentration (MPC) and background concentrations, but we used MPC. K_d of various pollutants were selected from the known values for the Bryansk Region (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b); regarding radionuclides, the K_d values mainly refer to the unsaturated zone of contamination.

We established that the main factors forming the pollutant migration are the radioactive decay of the said pollutants, their sorption properties, and the hydrodispersion of groundwater streams, which, in turn, depends on the geological and hydrogeological conditions of the study area and the aquiclude permeability. The studied situation proves that aquicludes cannot ensure a full protection of pressure groundwater from pollution.

Keywords: groundwater, underground confined waters, modeling of migration processes, pollutant, radionuclides, sorption, radioactive decay.

Funding. This work was carried out for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, No. FMWZ-2022-0002 “Research of Geoecological Processes in Hydrological Systems of Land, Formation of the Quality of Surface and Ground Waters, Problems of Water Resources Management and Water Use under Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impacts”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-5-39

EDN: IBYXTQ

==== **METHODS FOR STUDYING, MAINTANENCE AND PRESERVING ECOSYSTEMS** ====
AND THEIR COMPONENTS

UDC 556.383/388:504(571.1)

**USE OF A NUMERICAL EXPERIMENT IN STUDYING MIGRATION OF DIFFERENT
POLLUTANTS IN THE GROUNDWATER OF THE KALUGA REGION
IN THE AREA OF RADIOACTIVE ZONE**

© 2023. **A.P. Belousova, E.E. Rudenko, K.G. Vlasov**

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences

3, Gubkina Str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: anabel@iwp.ru, belanna47@mail.ru

Received Februar 27, 2023. Revised May 08, 2023. Accepted May 26, 2023.

The purpose of this article was to use a mathematical modeling in order to study the migration of various pollutants, including radionuclides, from poorly sorbed to highly sorbed ones that travel from groundwater to pressure groundwater through a separating layer, an aquiclude, and has varying permeability. Among others, the field of hydrogeological researches performs search and exploration of groundwater deposits. Search is the first stage which is carried out in unexplored territories, followed by exploration, the second stage, which is performed in the promising territories that were revealed during the first stage.

Our studies follow the first stage, because the territories of our choice, located in the Kaluga Region and affected by the Chernobyl accident, were unexplored. We focused on studying the migration of pollutants from groundwater through the aquiclude of the pressure waters. The direction of our search was determined by the aquiclude's ability to let the pollutants through, which is considered the most unfavorable conditions for groundwater, or its ability to keep the pollutants out, which is considered a favorable condition. However, both of these stages do not exist separately in natural and artificial conditions, because they simply merge together, but, in order to study that, a thorough geological and hydrogeological knowledge of the territory is needed, which we do not possess for the study area. Therefore, our research was carried for both stages: in the first one, the aquiclude was assumed to be permeable, while in the second one it was assumed impermeable.

For each stage, exploratory numerical experiments were carried out using mathematical modeling. The object of those studies was the part of the Kaluga Region, most affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Studies concerning the first stage have been already completed and published by our crew (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b), while the results of the second stage and generalizing results of both studies are presented in this article. We studied the migration of various pollutants, including radionuclides, from groundwater through an impermeable aquiclude to the confined aquifer. We used the same profiles that were studied in the first stage, but applied slightly modified scenarios and used different coefficients of pollutant sorption distribution (Kd).

Numerical experiments of the second stage were carried out according to the following scenarios: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). The first digit is the Kd value (l/kg) in the 1st layer, the second digit – 2nd layer, the third digit – 3rd layer. This selection of coefficients was determined by the fact that their values were assigned to be higher in the aquiclude than in the upper and lower aquifers.

Each scenario was applied for two conditions: with and without radioactive decay. The starting condition was the contamination degree of groundwater, just like the contamination degree of the ground in the radioactive trace zone of the study area. However, such a spread of contamination by either radionuclides or other pollutants is not actually (in natural conditions) observed in the groundwater of this territory. Pollutant concentrations can be specified in g/l, maximum permissible concentration (MPC) and background concentrations, but we used MPC. Kd of various pollutants were selected from the known values for the Bryansk Region (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b); regarding radionuclides, the Kd values mainly refer to the unsaturated zone of contamination.

We established that the main factors forming the pollutant migration are the radioactive decay of the said pollutants, their sorption properties, and the hydrodynamic dispersion of groundwater flow,

which, in turn, depends on the geological and hydrogeological conditions of the study area and the aquiclude permeability. The studied situation proves that aquicludes cannot ensure a full protection of pressure groundwater from pollution.

Keywords: groundwater, underground confined waters, modeling of migration processes, pollutant, radionuclides, sorption, radioactive decay.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-40-72

EDN: UEXKOC

In this research we studied the pressure groundwater in the part of the Kaluga Region most affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Our purpose was to use the method of numerical experiment as part of mathematical modeling to study the migration of various pollutants (from poorly sorbed to highly sorbed), including radionuclides, through groundwater and pressure groundwater.

Numerical experiments of the second stage were carried out according to the following scenarios: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). The first digit is the K_d value (l/kg) in the 1st layer, the second digit – 2nd layer, the third digit – 3rd layer. This selection of coefficients was determined by the fact that their values were assigned to be higher in the aquiclude than in the upper and lower aquifers. Each scenario was applied for two conditions: with and without radioactive decay. The previously created MT3D was used to model pollutant migration under each scenario (Zheng, Papadopoulos, 1990). To study the migration using this model, we made two profiles and several individual plots and assessed the ecological condition of groundwater, watershed layer and in pressure groundwater. We used this model to simulate the processes of geofiltration and pollutants migration in the Kaluga Region (Antonov et al., 2013; Belousova, 2015; Belousova, Rudenko, 2021a).

While using the model, we compared each scenario for the pollution development and analyzed the determining factors. We established that the main factors forming the pollutant migration are the radioactive decay of the said pollutants, their sorption properties, and the hydrodynamic dispersion of groundwater flow, which, in turn, depends on the geological and hydrogeological conditions of the study area and the aquiclude permeability.

We discovered that in the case of the impermeable aquicludes, polluted groundwater usually could not get into the confined aquifer at all, while in the case of the permeable ones, pollution could reach the pressure waters. It should be clarified that entirely “impermeable” and “permeable” aquicludes do not exist under natural conditions, because there is a thick layer of confining rocks of a complex lithological structure with industrial and natural disturbances.

The results of our researches on this topic can be used in assessing the ecological conditions of groundwater in different areas and at different scales; in designing and constructing the water intakes for fresh groundwater; in designing and organizing groundwater monitoring in those areas that were affected by the Chernobyl accident (Data on radioactive contamination ..., 2018; Radiation situation..., 2019)..

Modeling of Geological Migration of Pollutants

At the previous stage of our research, we showed that there is a danger of radionuclides polluting groundwater due to their migration from the surface that was contaminated during Chernobyl accident (Belousova, Rudenko, 2020). At the current stage, we consider the possibility of pollution entering the pressure waters from contaminated groundwater.

The *hydrogeological conditions* are characterized by a variety of non-pressure and confined aquifers (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b). Non-pressure aquifers include waters of Quaternary (alluvial, glacial, fluvioglacial, swamp and proluvial horizons), Cretaceous and Jurassic deposits. They all are connected and do not have sustained aquicludes inside their complex.

The previously conducted analysis of the existing groundwater pollution in the Kaluga Region,

showed the chemical pollution in various aquifers. From the Quaternary to the Devonian, every aquifer is polluted and almost each of them contains stable strontium, barium, fluorine, nitrates, chlorides and sulfates.

We analyzed the pollutants according to the degree of their sorption and classified them at the previous stage of our research using literature sources. As the results of that analysis show, the K_d values of many chemical elements significantly exceeded thousands of l/kg ($Ni = 152-5365$ l/kg) due to the lithological composition of the water-bearing rocks and the state of the certain chemical element. To assess the vulnerability of pressure groundwater to pollution coming from groundwater, we used a simplified concept of sorption and divide the elements into 2 categories: poorly sorbed ($K_d = 0-6$ l/kg) and highly sorbed (from 6 to 1000 l/kg). Further below, the range of K_d is explained in detail.

We should emphasize that radionuclide migration was mainly studied in the unsaturated zone before, i.e. in the soils and rocks of the aeration zone, where K_d varies from 1 to >1000 l/kg depending on the lithological composition. Such studies are almost non-existent for groundwater, since it has been believed for some time that groundwater was protected from any radionuclides, even though their insignificant amounts were still found in groundwater of the Bryansk Region.

Thus, ^{137}Cs and ^{90}Sr and other highly sorbed pollutants with a similar range of distribution coefficients, as well as neutral but poorly sorbed pollutants, such as nitrates, sulfates, chlorides and oil products, were chosen for our model to simulate the pollution processes in the groundwater and pressure groundwater.

To model the mass transfer in groundwater, we used MT3D that works on the basis of the MODFLOW transport model (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b). The initial distribution of the pollutants concentration in groundwater was conditionally similar to the surface distribution of radiation in the Chernobyl zone in the Kaluga Region. Their concentration can be determined in g/l, Bq/l, maximum permissible concentration (MPC) or background concentrations; but we prefer to use MPC (Fig. 1). Additionally, it should be noted that such contamination of groundwater in the radioactive zone in the study area is not actually observed.

To study the migration with MT3D (Antonov et al., 2013), we selected 2 profiles: one along the I-I line, from the northeast to the southwest of the study area, and one along the II-II line, from the southwest to the southeast, along the groundwater flow lines stretching from the watershed to the discharge area, i.e. to the river (Fig. 2).

The analysis of the ecological conditions was carried under various scenarios for 4 estimated periods: 30, 60, 100 and 300 years (picked due to the half-life of radionuclides and the duration of water intakes). We considered the following scenarios: with radioactive decay for radionuclides, without the decay for other pollutants, for poorly sorbed pollutants and for highly sorbed pollutants.

Changes in the pollutant concentrations with different K_d without decay for two time periods (30 years, 300 years) and two profiles

Profile I-I, initial pollutant concentrations throughout the individual plots: 1 – 8 MPC, 11 – 6 MPC, 12 – 4 MPC, 13 – 2 MPC, 14 – 4 MPC, 15 – 2 MPC.

30 years after the Chernobyl accident (Table 1; Fig. 3a) the pollutant concentration values in *the 1st layer* are clearly grouped when the K_d is 1-10 (Scenarios 1-3) and 6-1000 (Scenarios 4-6). On the plot No. 1, there are maximum concentrations (7-8 MPC) under Scenarios 4-6 and a drop of MPC down to 6-7 under Scenarios 1-3. Similar situations are observed at plots No. 11 and 14, while at No. 12, 13 and 15, in the area of groundwater discharge, every value of MPC, once equal, would drop down to 2, which indicates a significant role of hydrodynamic dispersion of groundwater flow. The concentrations at any K_d changes little compared to the initial concentrations that were observed before the accident. In *the 2nd layer* (aquiclude; Fig. 3b) the insignificant concentrations

are found at No. 1 (from 0.1 to 0.033 MPC) under Scenarios 1-3, while at No. 11 and 14 they are even lower and do not exceed 0.1 MPC. Other plots only have insignificant traces of pollution. Pollutants with high K_d under Scenarios 4-6 are also found in insignificant concentrations. In *the 3rd layer* there are no pollutants no matter the plot or scenario, which means that they cannot penetrate the aquiclude.

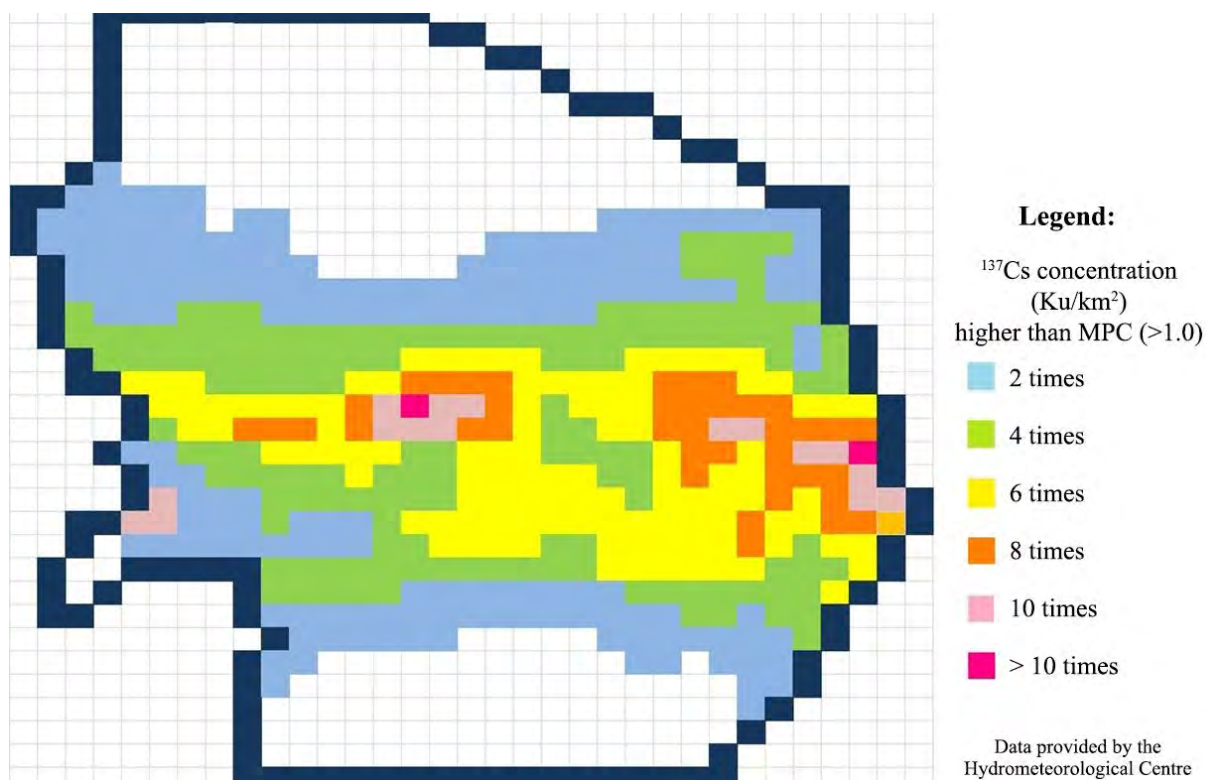


Fig. 1. Cartographic chart of surface contamination with ^{137}Cs radionuclide in the south of Kaluga Region (Map ..., 1991).

300 years after the Chernobyl accident (Table 2; Fig. 3c) pollutants in *the 1st layer* are clearly redistributed according to their K_d : those with low K_d (Scenarios 1-3) migrate more intensely, sometimes reaching the 2nd layer; while the ones with high K_d (Scenarios 4-6) are found in almost the same concentrations. Pollutants with small K_d accumulate in *the 2nd layer* (aquiclude; Scenarios 1-3) up to 3.5 MPC (Fig. 3d), with high concentrations only at the plot No. 11, low ones at No. 1 and 14, and only traces registered at other plots. It should be noted that the maximum concentrations 30 years after the accident shifted from No. 1 to 11 due to the hydrodynamic dispersion of the groundwater flow, because the plot No. 1 is located on the watershed and the flow sources from it, bearing pollutants that have accumulated in it over time. No pollutants are found in *the 3rd layer*.

Profile II-II, initial pollutant concentrations throughout the individual plots: 1 – 8 MPC, 2 – 6 MPC, 3 – 8 MPC, 4 – 12 MPC, 5 – 6 MPC, 6 – 2 MPC, 7 – 2 MPC, 8 – 10 MPC, 9 – 8 MPC, 10 – 12 MPC.

30 years after the Chernobyl accident (Table 1; Fig. 4a) the situation in *the 1st layer* is the same with the I-I profile, with the same differentiation by scenarios, although with an insignificant pollutants concentration from the initial concentration. The concentrations in this layer are high, reaching their maximum of 12 MPC. *The 2nd layer* (Fig. 4b) has the same tendencies with the I-I, i.e. the insignificant accumulation of pollutants under Scenarios 1-3 that do not exceed 0.33 MPC

at the lowest K_d and are considered insignificant at the high K_d . The role of the hydrodynamic dispersion is important in this case as well, because it shifts the maximal concentrations from one plot to another: for example, from No. 8 in the 1st layer to No. 1 in the 2nd layer. No pollutants are found in *the 3rd layer*.

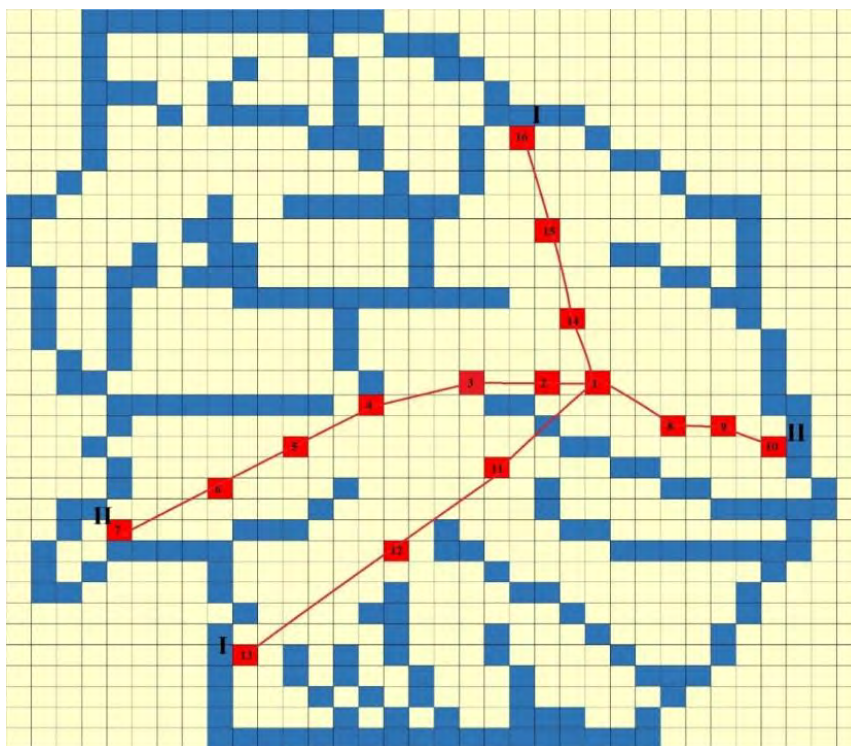


Fig. 2. Schematic location of I-I and II-II profiles, including key plots on the model of the studied object.

300 years after the accident (Table 2; Fig. 4c) the pollutants in *the 1st layer* are redistributed the same way according to their K_d : those with low K_d (Scenarios 1-3) migrate more intensely and reach the 2nd layer in insignificant amount; while the ones with high K_d (Scenarios 4-6) are found in almost the same concentrations. Insignificant concentrations of pollutants with small K_d accumulate in *the 2nd layer* (Scenarios 1-3) up to 0.22 MPC (Fig. 4d); however, insignificant accumulations can be seen everywhere aside from the plots No. 5-7, where it's almost zero. It should be noted that in this case the maximal concentrations shifted as well from one point to another due to the hydrodynamic dispersion of groundwater flow. No signs of accumulations were found in *the 3rd layer*.

In addition to the aforementioned periods, we carried out calculations for 60 and 100 years, the results of which can be found in Tables 1 and 2.

Changes in the pollutant concentrations with different K_d with decay for two time periods (30 years, 300 years) and two profiles

Profile I-I, initial pollutant concentrations throughout the individual plots: 1 – 8 MPC, 11 – 6 MPC, 12 – 4 MPC, 13 – 2 MPC, 14 – 4 MPC, 15 – 2 MPC.

30 years after the accident (Table 1; Fig. 5a) there are the same tendencies of pollutants in *the 1st layer* forming groups according to their K_d , as it was observed for the pollutants with decay in the same layer. However, their concentration is twice as low (3.5 MPC) due to them reaching one half-life (which equals 30 years for radionuclides).

Table 1. Change in concentration of highly sorbed pollutants in groundwater, watershed and pressure water during their migration (30 and 60 years).

Profile No.	Plot No.	Kd 1-3-1				Kd 1-6-1				Kd 6-60-6			
		decay		no decay		decay		no decay		decay		no decay	
		Layer No.											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
30 years													
I	13	0.989	0.00015	1.967	0.00020	0.989	0.00008	1.966	0.00010	0.867	0.00001	1.990	0.00001
	12	1.985	0.00037	3.945	0.00073	1.985	0.00028	3.945	0.00037	1.736	0.00003	3.990	0.00004
	11	2.891	0.00527	5.746	0.00695	2.891	0.00266	5.645	0.00351	2.589	0.00031	5.950	0.00036
	1	3.491	0.02430	6.938	0.03180	3.491	0.01230	6.938	0.01610	3.387	0.00148	7.786	0.00172
	14	1.890	0.00465	3.757	0.00613	1.890	0.00235	3.757	0.00309	1.719	0.00027	3.952	0.00032
	15	0.963	0.00033	1.913	0.00044	0.963	0.00017	1.913	0.00022	0.863	0.00002	1.983	0.00002
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.957	0.00066	1.902	0.00087	0.957	0.00033	1.901	0.00044	0.862	0.00039	1.980	0.00005
	6	0.976	0.00017	1.940	0.00045	0.976	0.00009	1.940	0.00012	0.865	0.00001	1.988	0.00001
	5	2.928	0.00033	5.829	0.00043	2.928	0.00017	5.819	0.00022	2.595	0.00002	5.965	0.00002
	4	5.873	0.00439	11.670	0.00581	5.873	0.00222	11.627	0.00293	5.193	0.00025	11.937	0.00030
	3	3.870	0.00075	7.691	0.00098	3.870	0.00038	7.691	0.00050	3.454	0.00004	7.940	0.00005
	2	2.814	0.02070	5.559	0.02730	2.814	0.01050	5.593	0.00014	2.575	0.00123	5.920	0.00143
	1	3.491	0.02430	6.938	0.03180	3.491	0.01230	6.938	0.01610	3.387	0.00148	7.786	0.00172
	8	4.635	0.02040	9.212	0.02685	4.635	0.01030	9.212	0.01300	4.283	0.00120	9.845	0.00141
	9	3.887	0.01470	7.726	0.01943	3.887	0.00743	7.726	0.00980	3.457	0.00086	7.947	0.00100
	10	5.771	0.02050	11.470	0.02712	5.771	0.01040	11.470	0.01300	5.176	0.00120	11.897	0.00141
60 years													
I	13	0.489	0.00024	1.933	0.00043	0.490	0.00012	1.933	0.00022	0.377	0.00001	1.978	0.00002
	12	0.985	0.00079	3.890	0.01344	0.985	0.00040	3.890	0.00068	0.755	0.00004	3.979	0.00007
	11	1.381	0.00805	5.454	0.01424	1.381	0.00406	5.453	0.00719	1.118	0.00046	5.892	0.00075
	1	1.474	0.03560	5.820	0.06137	1.474	0.01800	5.819	0.03100	1.428	0.00216	7.530	0.00953
	14	0.898	0.00637	3.545	0.01063	0.897	0.00322	3.545	0.00537	0.741	0.00036	3.909	0.00057
	15	0.462	0.00049	1.826	0.00086	0.462	0.00025	1.825	0.00043	0.373	0.00003	1.965	0.00005
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.458	0.00097	1.808	0.00167	0.458	0.00049	1.808	0.00084	0.372	0.00006	1.962	0.00009
	6	0.476	0.00026	1.882	0.00045	0.476	0.00013	1.882	0.00023	0.375	0.00001	1.976	0.00002
	5	1.428	0.00048	5.640	0.00083	1.428	0.00024	5.640	0.00042	1.125	0.00003	5.929	0.00004
	4	2.870	0.00662	11.335	0.01164	2.870	0.00334	11.335	0.00587	2.252	0.00037	11.870	0.00061
	3	1.866	0.00118	7.367	0.00213	1.865	0.00060	7.367	0.00107	1.494	0.00007	7.875	0.00012
	2	1.313	0.03050	5.185	0.05309	1.313	0.01540	5.185	0.02080	1.107	0.00180	5.896	0.00287
	1	1.474	0.03560	5.820	0.06137	1.474	0.01800	5.819	0.03100	1.428	0.00216	7.530	0.00953
	8	2.134	0.03020	8.425	0.05249	2.134	0.01520	8.425	0.02652	1.836	0.00170	9.679	0.00286
	9	1.875	0.02280	7.406	0.04060	1.875	0.01150	4.405	0.02052	1.496	0.00130	7.883	0.00213
	10	2.773	0.03040	10.950	0.05296	2.773	0.01540	10.950	0.02674	2.238	0.00170	11.793	0.00279
13	0.989	0.00005	1.966	0.00006	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.842	0.00000	1.998	0.00000	

Continuation of Table 1.

Profile No.	Plot No.	K _B 1-10-1				K _d 100-1000-100				K _d 26-260-26			
		decay		no decay		decay		no decay		decay		no decay	
		Layer No.											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		30 years											
I	12	1.985	0.00017	3.945	0.00022	1.686	0.00000	3.990	0.00000	1.684	0.00001	3.998	0.00001
	11	2.891	0.00160	5.745	0.00211	2.528	0.00002	5.990	0.00002	2.524	0.00007	5.988	0.00008
	1	3.491	0.00739	6.938	0.00969	3.366	0.00009	7.980	0.00010	3.350	0.00035	7.949	0.00040
	14	1.890	0.00141	3.757	0.00186	1.685	0.00002	3.990	0.00002	1.681	0.00006	3.998	0.00007
	15	0.963	0.00010	1.913	0.00013	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00000	1.996	0.00001
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.957	0.00020	1.901	0.00027	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00001	1.995	0.00001
	6	0.976	0.00005	1.940	0.00007	0.843	0.00000	1.990	0.00000	0.841	0.00000	1.997	0.00000
	5	2.928	0.00010	5.819	0.00013	2.528	0.00000	5.990	0.00000	2.525	0.00000	5.991	0.00001
	4	5.873	0.00134	11.672	0.00176	5.056	0.00002	11.990	0.00002	5.051	0.00006	11.985	0.00007
	3	3.870	0.00026	7.691	0.00030	3.370	0.00000	8.000	0.00000	3.366	0.00001	7.985	0.00001
	2	2.814	0.00631	5.592	0.00830	2.527	0.00008	5.990	0.00009	2.520	0.00129	5.981	0.00033
	1	3.491	0.00739	6.938	0.00969	3.366	0.00009	7.980	0.00010	3.350	0.00035	7.949	0.00040
	8	4.635	0.00620	9.212	0.00816	4.210	0.00008	9.990	0.00009	4.199	0.00028	9.963	0.00021
	9	3.887	0.00448	7.726	0.00591	3.371	0.00005	7.990	0.00006	3.367	0.00020	7.987	0.00017
	10	5.771	0.00625	11.470	0.00824	5.055	0.00007	11.990	0.00009	5.047	0.00028	11.975	0.00033
		60 years											
I	13	0.489	0.00007	1.933	0.00013	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00000	1.997	0.00001
	12	0.985	0.00024	3.891	0.00041	0.710	0.00000	3.990	0.00000	0.709	0.00001	3.995	0.00002
	11	1.381	0.00245	5.453	0.00433	1.065	0.00003	5.990	0.00005	1.060	0.00011	5.974	0.00018
	1	1.473	0.01080	5.819	0.01870	1.420	0.00013	7.970	0.00022	1.400	0.00051	7.887	0.00083
	14	0.898	0.00194	3.545	0.00323	0.710	0.00002	3.990	0.00003	0.707	0.00009	3.978	0.00013
	15	0.462	0.00015	1.825	0.00026	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00001	1.992	0.00001
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.458	0.00029	1.808	0.00051	0.355	0.00000	1.990	0.00001	0.353	0.00001	1.991	0.00002
	6	0.477	0.00008	1.882	0.00014	0.355	0.00000	1.990	0.00000	0.354	0.00000	1.995	0.00001
	5	1.428	0.00015	5.640	0.00025	1.065	0.00000	5.990	0.00000	1.060	0.00001	5.983	0.00001
	4	2.870	0.00201	11.335	0.00354	2.130	0.00002	11.990	0.00004	2.126	0.00009	11.969	0.00014
	3	1.866	0.00036	7.367	0.00065	1.420	0.00000	7.990	0.00001	1.410	0.00002	7.970	0.00003
	2	1.313	0.00931	5.185	0.01620	1.064	0.00011	5.980	0.00017	1.050	0.00042	5.967	0.00067
	1	1.473	0.01080	5.819	0.01870	1.420	0.00013	7.970	0.00022	1.400	0.00051	7.887	0.00083
	8	2.133	0.00919	8.425	0.01590	1.773	0.00011	9.970	0.00017	1.760	0.00041	9.923	0.00067
	9	1.875	0.00694	7.405	0.01236	1.420	0.00008	7.990	0.00013	1.420	0.00030	7.972	0.00050
	10	2.774	0.00925	10.953	0.01610	2.129	0.00011	11.980	0.00017	2.120	0.00040	11.951	0.00065

Notes to Tables 1-2: the 3rd layer is not included, because the values at the key plots were zero.

The hydrological dispersion is also present here, affecting mostly the pollutants with the lower K_d , as well as their accumulation that happens after they flow into the nearby computational cells; however, the dispersion does not affect the highly sorbed pollutants too much. **The 2nd layer** (aquiclude) is similar (Fig. 5b) to the Layer 2 of the I-I, with lower concentrations: plot No. 1 without decay – 0.032 MPC, with decay – 0.024 MPC, which means that aquiclude accumulates less of poorly sorbed pollutants with decay, while the highly sorbed ones leave traces. No pollutants were found in **the 3rd layer**.

300 years after the accident (Table 2; Fig. 5c) the pollutants with high K_d (Scenarios 4-6) are almost entirely absent in **the 1st layer** (up to < 0.001 MPC), while the amount of ones with lower K_d (Scenarios 1-3) is insignificant (up to 0.004 MPC).

Therefore, we can affirm that radioactive pollutants with different K_d undergo the almost complete decay. The concentration of pollutants in **the 2nd layer** (Fig. 5d) increases slightly compared to the ones 30 years after the accident: for example, the concentration of poorly sorbed pollutants reached 0.025 MPC at the plot No. 1 after 30 years, increasing to 0.042 MPC after 300 years, which cannot be considered a significant value, but can indicate the traces of these pollutants in the aquiclude. No pollutants were found in **the 3rd layer**.

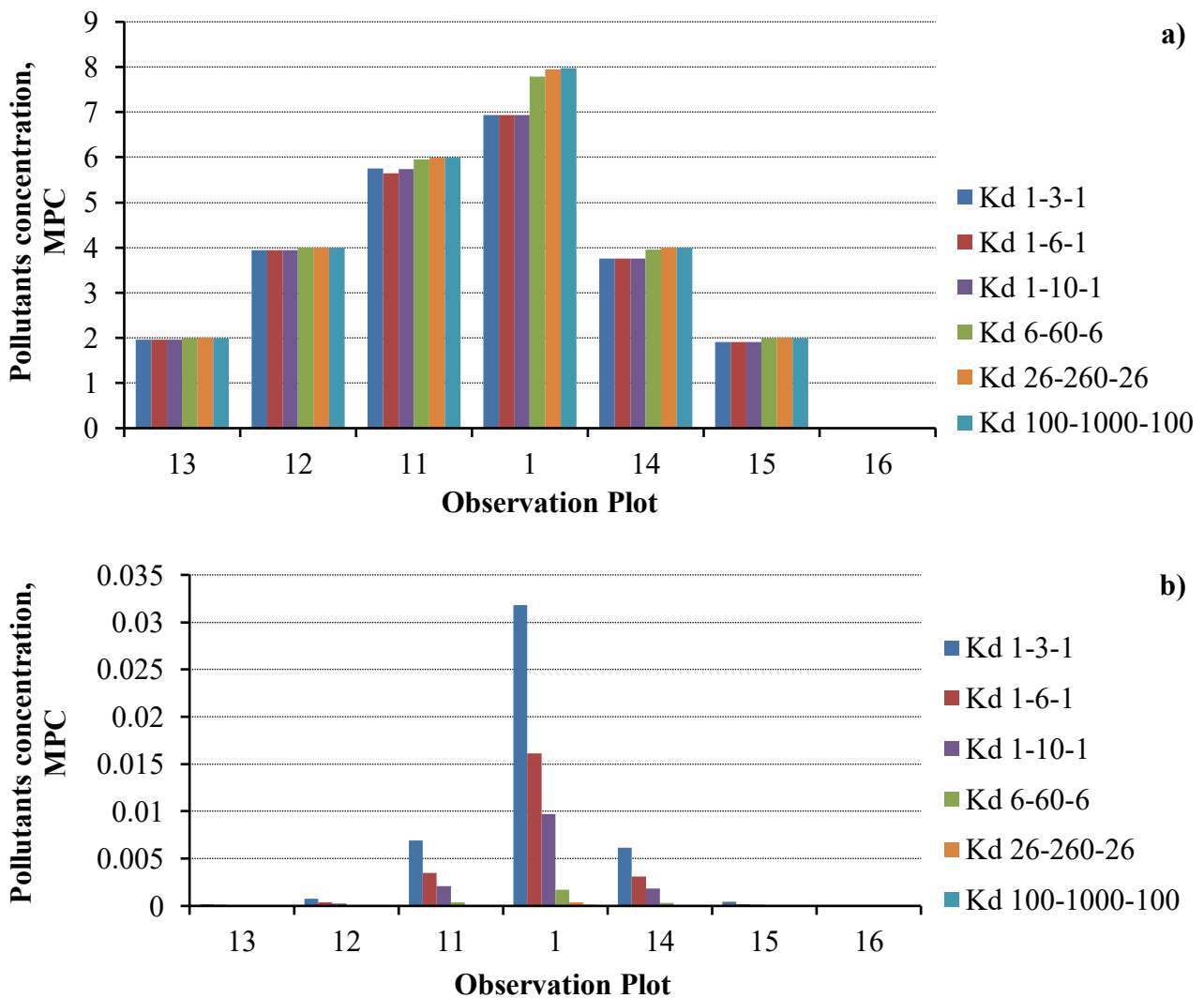


Fig. 3a, b. Distribution of pollutant concentrations for different K_d , Profile I-I: a) 30 years, Layer 1 without decay; b) 30 years, layer 2 without decay.

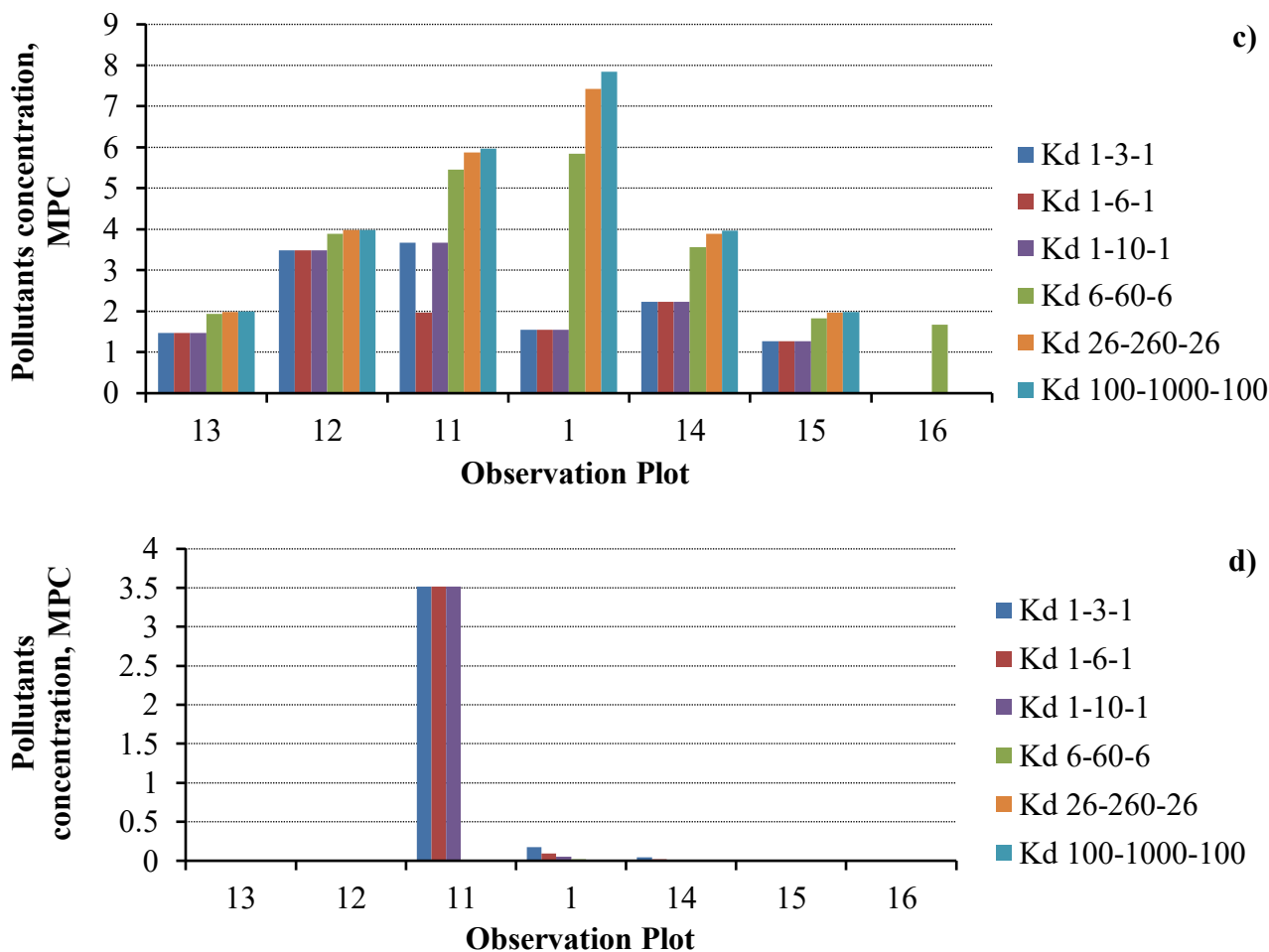


Fig. 3c, d. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile I-I: c) 300 years, Layer 1 without decay; d) 300 years, Layer 2 without decay.

Profile II-II, initial pollutant concentrations throughout the individual plots: 1 – 8 MPC, 2 – 6 MPC, 3 – 8 MPC, 4 – 12 MPC, 5 – 6 MPC, 6 – 2 MPC, 7 – 2 MPC, 8 – 10 MPC, 9 – 8 MPC, 10 – 12 MPC.

30 years after the accident (Table 1; Fig. 6a) the general tendencies of the radioactive pollutants distribution in *the 1st layer* are the same with the non-radioactive ones (Fig. 4a). The only difference is the concentration values which are twice lower for the radioactive pollutants: plot No. 4 – 12 MPC (no decay) and 6 MPC (decay), with the same picture at other plots due to the one half-life of the radionuclides. In addition, there is a shift of maximal concentrations that were registered for the pollutants with high Kd and no decay, as well as for the ones with decay and low Kd. This is due to hydrological dispersion that actively brings pollutants with low Kd from the nearby cells, instead of those with higher Kd. *The 2nd layer* (Fig. 6b) mostly accumulates the poorly sorbed pollutants that come from the 1st layer (up to 0.025 MPC) and has traces of highly sorbed ones. No pollutants were found in *the 3rd layer*.

300 years after the accident (Table 2; Fig. 6c) *the 1st layer* has the same tendencies and changes with the layer from the I-I, however the concentration of poorly sorbed pollutants at the plot No. 1 has dropped from 12 to 0.009 MPC due to ten half-lives of the radionuclides. The poorly sorbed pollutants in *the 2nd layer* (Fig. 6d) have increased insignificantly under Scenarios 1-3 at the plot No. 1 – up to 0.04 MPC compared to 0.024 MPC after 30 years (Fig. 6b); however, only the traces of highly sorbed ones were found. No pollutants were found in *the 3rd layer*.

Table 2. Change in concentration of highly sorbed pollutants in groundwater, watershed and pressure water during their migration (100 and 300 years).

Profile No.	Plot No.	Kd 1-3-1				Kd 1-6-1				Kd 6-60-6			
		decay		no decay		decay		no decay		decay		no decay	
		Layer No.											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
100 years													
I	13	0.191	0.00027	1.891	0.00066	0.191	0.00014	1.891	0.00033	0.110	0.00002	1.978	0.00003
	12	0.386	0.00100	3.820	0.00241	0.386	0.00050	3.820	0.00112	0.220	0.00005	3.965	0.00013
	11	0.524	0.00926	5.193	0.02200	0.524	0.00468	5.193	0.01111	0.325	0.00510	5.837	0.00119
	1	0.503	0.04010	4.978	0.09000	0.503	0.02030	4.977	0.04570	0.406	0.00244	7.309	0.00551
	14	0.328	0.00808	3.246	0.01900	0.328	0.00408	3.246	0.00959	0.214	0.00046	3.844	0.00105
	15	0.177	0.00058	1.725	0.00137	0.174	0.00029	1.725	0.00069	0.108	0.00003	1.944	0.00007
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.170	0.00116	1.690	0.00274	0.170	0.00059	1.690	0.00138	0.107	0.00007	1.937	0.00015
	6	0.183	0.00031	1.810	0.00073	0.183	0.00015	1.809	0.00037	0.109	0.00002	1.962	0.00004
	5	0.548	0.00058	5.419	0.00139	0.551	0.00029	5.419	0.00070	0.327	0.00003	5.884	0.00007
	4	1.106	0.00781	10.934	0.01870	1.060	0.00394	10.943	0.00945	0.655	0.00043	11.790	0.00099
	3	0.709	0.00132	7.018	0.00313	0.709	0.00066	7.018	0.00158	0.433	0.00002	7.803	0.00017
	2	0.480	0.03560	4.748	0.08360	0.479	0.01810	4.747	0.04233	0.319	0.00204	5.738	0.00470
	1	0.503	0.04010	4.978	0.09000	0.503	0.02030	4.977	0.04570	0.406	0.00244	7.309	0.00551
	8	0.769	0.03490	7.608	0.08130	0.769	0.01770	7.607	0.04111	0.528	0.00200	9.493	0.00462
	9	0.709	0.02590	7.017	0.06200	0.709	0.01310	7.016	0.03134	0.435	0.00140	7.828	0.00319
	10	1.010	0.03590	10.018	0.08490	1.012	0.01820	10.010	0.04291	0.648	0.00200	11.661	0.00464
300 years													
I	13	0.002	0.00031	1.477	0.002	0.002	0.00031	1.477	0.00097	0.000	0.00002	1.936	0.00011
	12	0.004	0.00108	3.483	0.006	0.004	0.00108	3.483	0.00313	0.001	0.00006	3.896	0.00033
	11	0.004	0.00927	3.673	3.520	0.004	0.00927	1.962	3.51700	0.001	0.00055	5.463	0.00368
	1	0.003	0.04170	1.550	0.177	0.003	0.04170	1.547	0.09070	0.001	0.00260	5.848	0.01580
	14	0.002	0.00857	2.229	0.041	0.002	0.00857	2.223	0.02000	0.001	0.00048	3.571	0.00260
	15	0.001	0.00063	1.262	0.004	0.001	0.00063	1.262	0.00183	0.000	0.00003	1.832	0.00022
	16	0.000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	1.676	0.00000
II	7	0.001	0.00126	1.739	0.007	0.001	0.00126	1.739	0.00362	0.000	0.00007	1.817	0.00042
	6	0.002	0.00034	1.849	0.002	0.002	0.00034	1.849	0.00105	0.000	0.00002	1.887	0.00012
	5	0.005	0.00064	4.401	0.004	0.005	0.00064	4.401	0.00185	0.001	0.00003	5.656	0.00021
	4	0.009	0.00859	8.548	0.052	0.009	0.00859	8.550	0.02610	0.002	0.00045	11.360	0.00298
	3	0.005	0.00147	5.262	0.093	0.005	0.00147	5.262	0.00471	0.001	0.00008	7.387	0.00056
	2	0.004	0.03760	2.723	0.195	0.004	0.03760	2.716	0.09960	0.001	0.00220	5.213	0.01360
	1	0.003	0.04170	1.550	0.177	0.003	0.04170	1.547	0.09070	0.001	0.00260	5.848	0.01580
	8	0.005	0.03720	4.210	0.190	0.005	0.03720	4.201	0.09600	0.001	0.00210	8.476	0.01350
	9	0.006	0.02830	5.261	0.174	0.006	0.02830	5.257	0.08843	0.001	0.00150	7.415	0.01050
	10	0.006	0.04000	6.209	0.209	0.006	0.04000	6.206	0.10600	0.002	0.00210	10.998	0.01350
13	0.191	0.00008	1.890	0.00020	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00000	1.995	0.00001	

Continuation of Table 2.

Profile No.	Plot No.	Kd 1-10-1				Kd 100-1000-100				Kd 26-260-26			
		decay		no decay		decay		no decay		decay		no decay	
		Layer No.											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
100 years													
I	12	0.386	0.00030	3.820	0.00073	0.202	0.00000	3.990	0.00001	0.202	0.00001	3.990	0.00003
	11	0.525	0.00282	5.193	0.00669	0.303	0.00003	5.980	0.00007	0.301	0.00012	5.961	0.00028
	1	0.503	0.01226	4.976	0.02756	0.402	0.00015	7.950	0.00035	0.396	0.00057	7.831	0.00133
	14	0.328	0.00246	3.246	0.00578	0.202	0.00003	3.990	0.00006	0.200	0.00010	3.963	0.00025
	15	0.174	0.00018	1.725	0.00042	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00001	1.987	0.00002
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.171	0.00035	1.690	0.00083	0.101	0.00000	1.990	0.00009	0.100	0.00002	1.984	0.00003
	6	0.183	0.00009	1.809	0.00022	0.101	0.00000	1.990	0.00000	0.100	0.00000	1.990	0.00001
	5	0.547	0.00018	5.419	0.00042	0.303	0.00000	5.990	0.00000	0.302	0.00001	5.972	0.00002
	4	1.106	0.00237	10.943	0.00569	0.607	0.00003	11.980	0.00006	0.604	0.00010	11.950	0.00023
	3	0.709	0.00040	7.018	0.00095	0.404	0.00000	7.980	0.00001	0.402	0.00002	7.953	0.00004
	2	0.479	0.01090	4.747	0.02550	0.303	0.00012	5.980	0.00029	0.300	0.00048	5.937	0.00110
	1	0.503	0.01226	4.976	0.02756	0.402	0.00015	7.950	0.00035	0.396	0.00057	7.831	0.00133
	8	0.769	0.01060	7.607	0.02477	0.505	0.00012	9.960	0.00028	0.500	0.00047	9.878	0.00109
	9	0.709	0.00791	7.016	0.01800	0.404	0.00009	7.990	0.00021	0.400	0.00033	7.958	0.00077
	10	1.012	0.01090	10.017	0.02585	0.606	0.00012	11.980	0.00028	0.603	0.00047	9.917	0.00108
300 years													
I	13	0.002	0.00009	1.476	0.00059	0.000	0.00000	1.990	0.00001	0.000	0.00000	1.984	0.00003
	12	0.004	0.00033	3.483	0.00188	0.000	0.00000	3.990	0.00002	0.000	0.00001	3.975	0.00008
	11	0.004	0.00856	3.672	3.51600	0.001	0.00003	5.965	0.00023	0.001	0.00013	5.869	0.00088
	1	0.002	0.01300	1.544	0.05480	0.001	0.00016	7.847	0.00100	0.001	0.00060	7.430	0.00410
	14	0.002	0.00262	2.227	0.01249	0.000	0.00003	3.972	0.00016	0.000	0.00010	3.894	0.00063
	15	0.001	0.00019	1.262	0.00410	0.000	0.00000	1.980	0.00001	0.000	0.00001	1.959	0.00005
	16	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000	0.000	0.00000
II	7	0.001	0.00038	1.739	0.00218	0.000	0.00000	1.980	0.00003	0.000	0.00002	1.955	0.00010
	6	0.002	0.00010	1.365	0.00063	0.000	0.00000	1.990	0.00001	0.000	0.00000	1.973	0.00005
	5	0.005	0.00019	4.401	0.00112	0.001	0.00000	5.980	0.00001	0.001	0.00001	5.917	0.00005
	4	0.009	0.00262	8.548	0.01575	0.002	0.00003	11.960	0.00018	0.002	0.00010	11.846	0.00070
	3	0.005	0.00045	5.262	0.01136	0.001	0.00000	7.960	0.00004	0.001	0.00002	7.851	0.00013
	2	0.003	0.01170	2.713	0.06000	0.001	0.00013	5.948	0.00087	0.001	0.00050	5.804	0.00332
	1	0.002	0.01300	1.544	0.05480	0.001	0.00016	7.847	0.00100	0.001	0.00060	7.430	0.00410
	8	0.005	0.01150	4.198	0.05845	0.001	0.00013	9.890	0.00087	0.001	0.00049	9.617	0.00332
	9	0.006	0.00873	5.255	0.05339	0.001	0.00009	7.960	0.00066	0.001	0.00035	7.858	0.00251
	10	0.006	0.01190	6.205	0.06396	0.002	0.00013	11.935	0.00084	0.001	0.00049	11.755	0.00378

Changes in the pollutant concentrations with different Kd

Scenario 1-6-1, Profile I-I. 30 years after the accident the distribution of pollutant concentrations **without decay** changed insignificantly in *the 1st layer* compared to the initial

concentrations (Fig. 7a). For example, the initial 8 MPC at the plot No. 1 dropped to 7 MPC, then to 6 MPC after 60 years, to 5 MPC after 100 years and finally to 1.5 MPC after 300 years, the latter change being the result of the hydrological dispersion of the groundwater flow. The concentration of pollutants **with decay** halved at all plots (Fig. 7a) after 30 years, i.e. after one half-life of radionuclides, affected by the groundwater dispersion: the initial 8 MPC at the plot No. 1 dropped to 3.5 MPC after 30 years, but it should have been 4 MPC instead, which means that a 0.5 MPC decrease was the result of dispersion as well, i.e. of the pollutants flowing into nearby cells. The same trend was observed at other plots of this profile, and only minor traces of pollutants were found over 300 years.

In *the 2nd layer* (aquiclude; Fig. 7b) pollutants **without decay** were found only after 300 years (3.5 MPC at the plot No. 1), with only insignificant concentrations observed for previous periods (Tables 1, 2). Concentrations **with decay** (Fig. 7c) were very insignificant after 300 years: 0.042 MPC at No. 1, ranging from 0.012 to 0.02 MPC for earlier periods and never exceeding 0.005 MPC at other plots, which means that only traces of pollutants are present there.

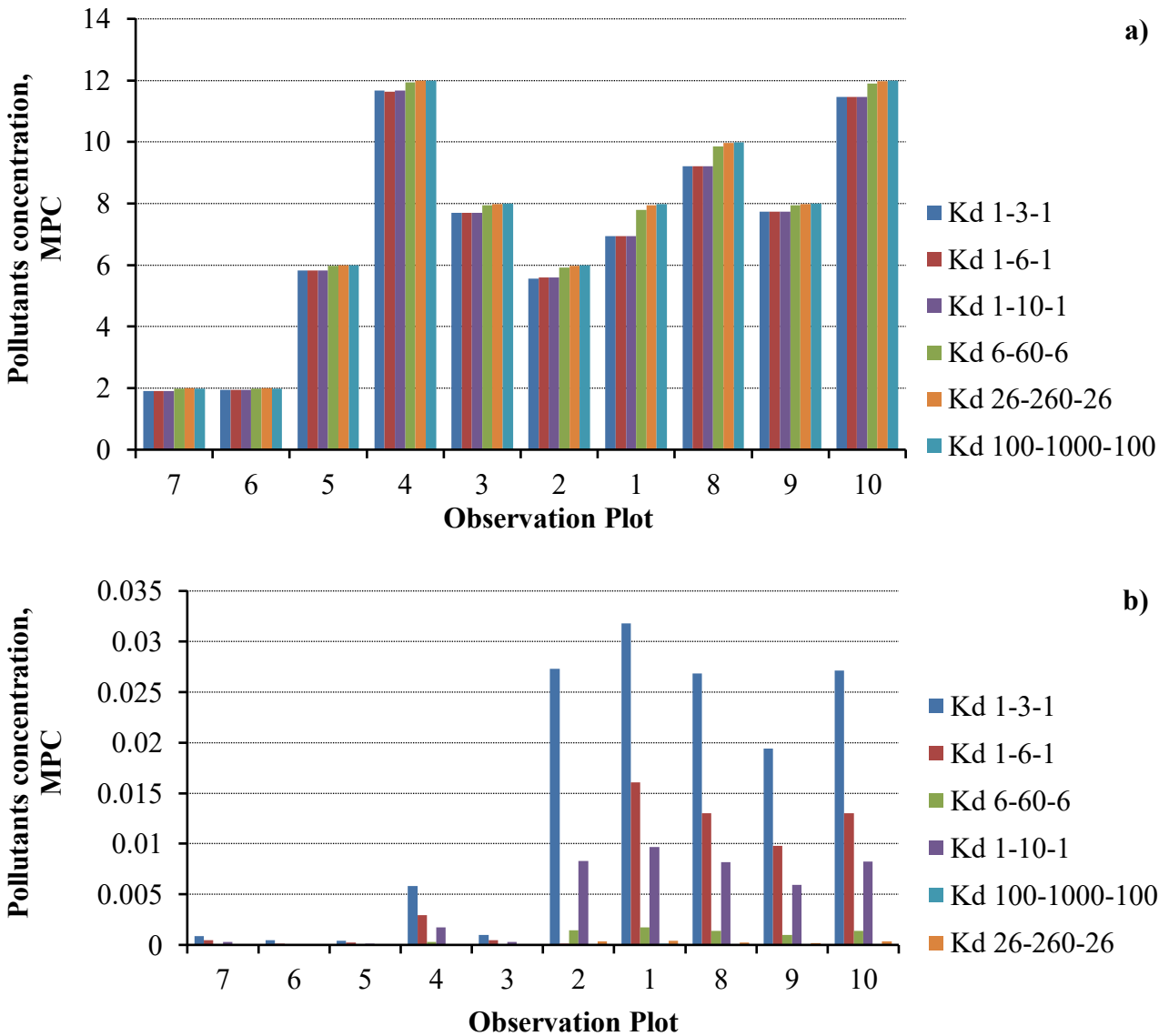


Fig. 4a, b. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile II: a) 30 years, Layer 1 without decay; b) 30 years, Layer 2 without decay.

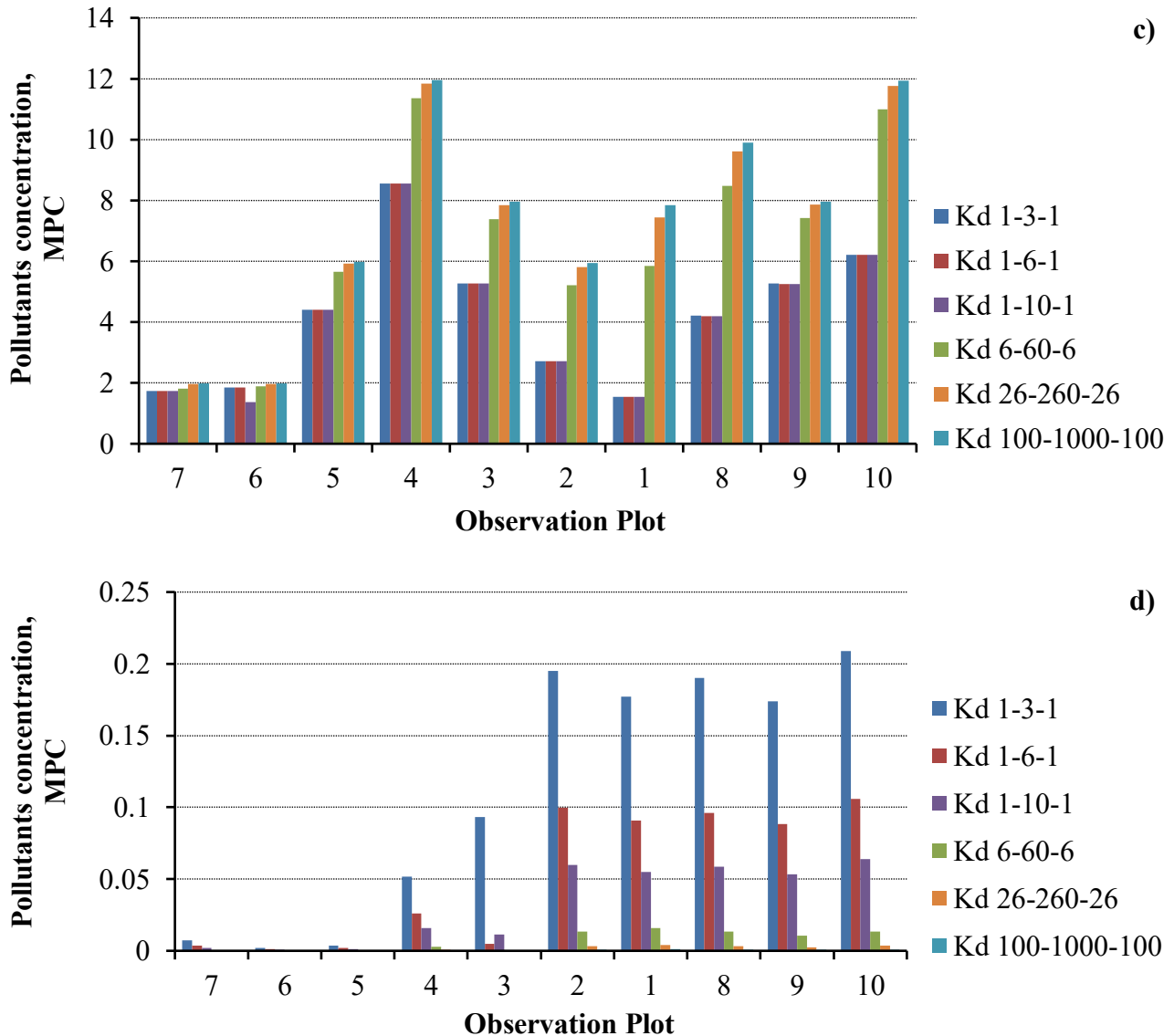


Fig. 4c, d. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile II: c) 300 years, Layer 1 without decay, d) 300 years, Layer 2 without decay.

Profile II-II. Distribution of pollutants (Fig. 8a) **with** and **without decay** in *the 1st layer* is mostly similar to those in the same layer of I-I (Fig. 7a). However, we registered differences in *the 2nd layer* (Fig. 8b). While the maximal concentrations for every period were noted at the plot No. 4 in *the 1st layer* (Fig. 8a), they shifted to No. 2 (Fig. 8b) due to increasing hydrological dispersion. However, the maximum of pollutants **without decay** in the 2nd layer of II-II decreased from 3.5 (Fig. 7b) to 0.1 MPC (Fig. 8b) compared to the same layer of I-I, while the pollutants **with decay** accumulated and increased over time: for example, at the plot No. 1 there is 0.01 MPC 30 years after the accident, but 0.04 MPC 300 years after. Pollutants **without decay** accumulate as well: No. 10 – 0.04 MPC after 30 years, but 0.11 MPC after 300 years. It should be noted that these accumulations are insignificant and considered to be only traces of pollution.

Scenario 1-10-1, Profile I-I. Changes in the pollutant concentrations **with** and **without decay** are very insignificant (Table. 1, 2) in *the 1st layer* (Fig. 9) and similar to the changes under Scenario 1-6-1. However, after 300 years pollutants **without decay** reach 3.7 MPC at the plot No. 11

compared to 2 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7a), which can be the result of hydrological dispersion over a long period of calculations. The situation in the 2nd layer is almost the same.

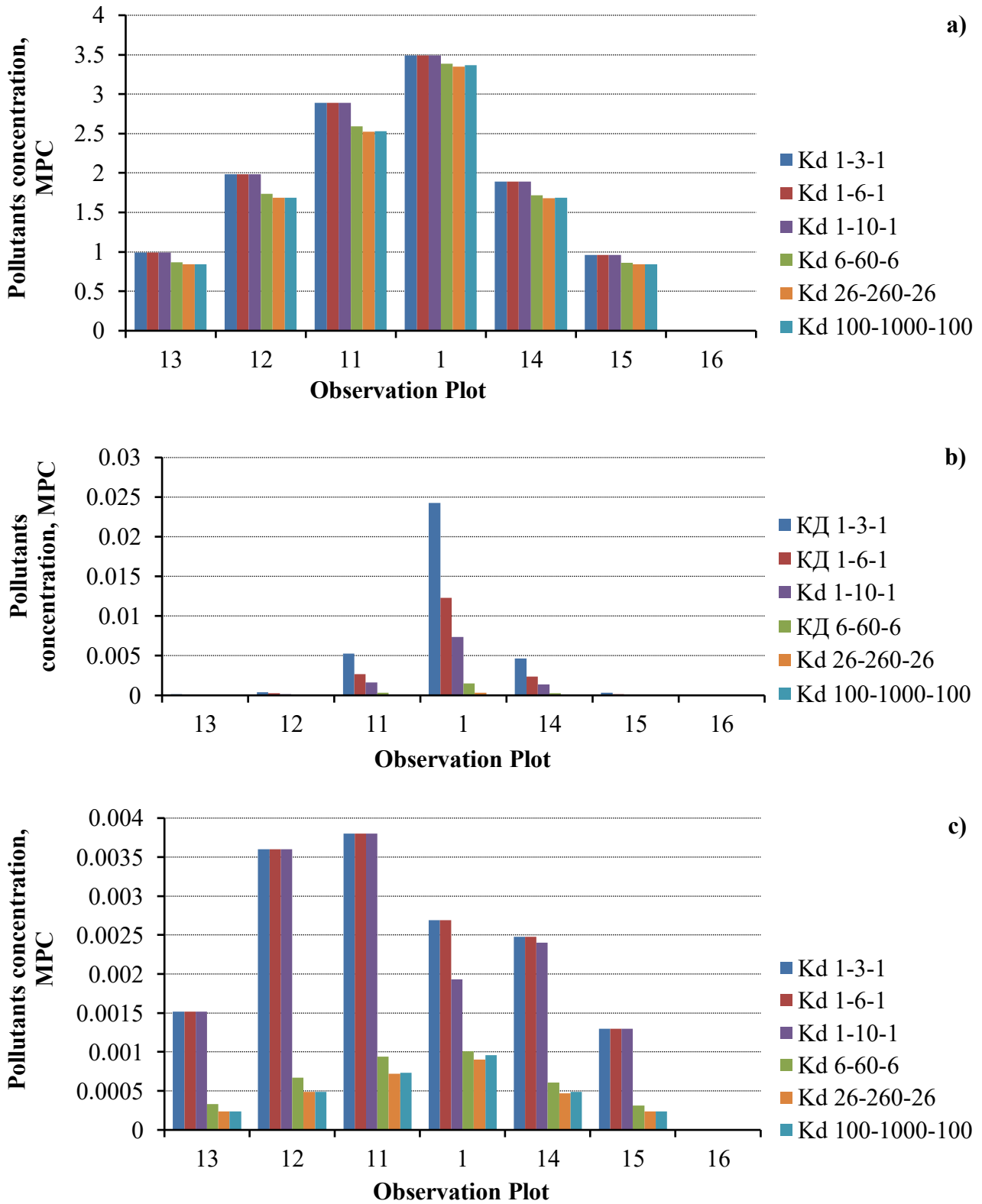


Fig. 5a, b, c. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile I: a) 30 years, Layer 1 with decay; b) 30 years, Layer 2 with decay; c) 300 years, Layer 1 with decay;

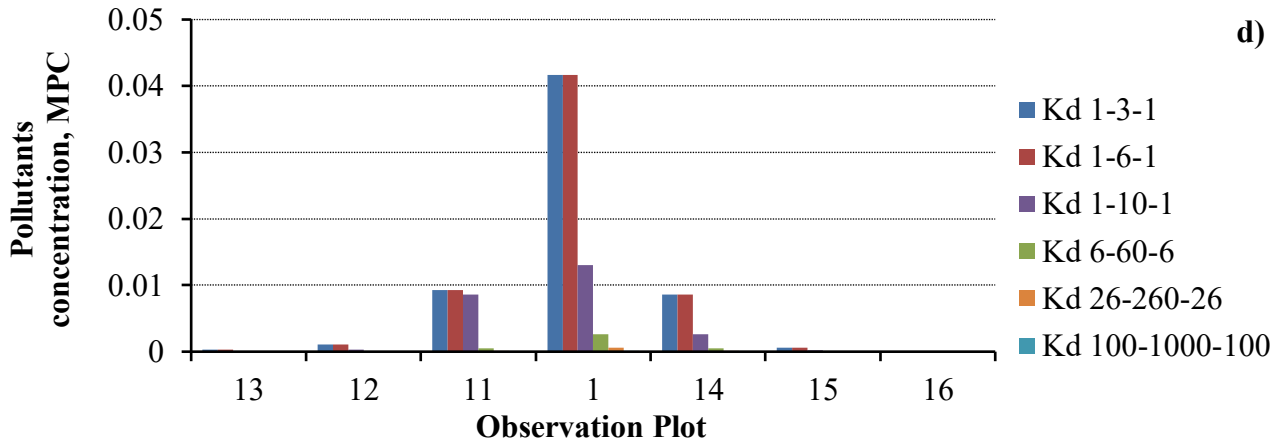


Fig. 5d. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile I: d) 300 years, Layer 2 with decay.

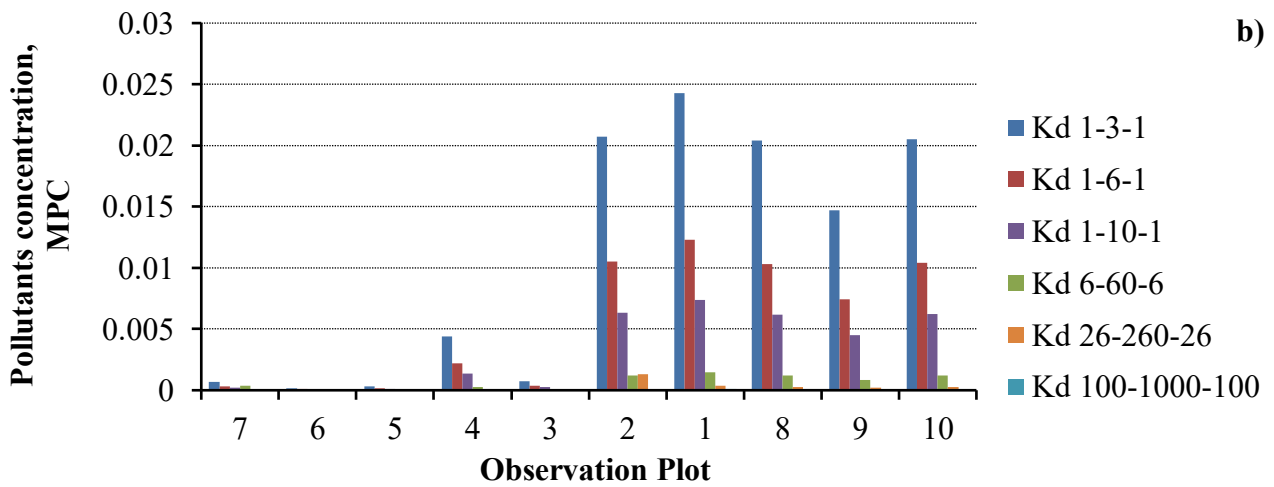
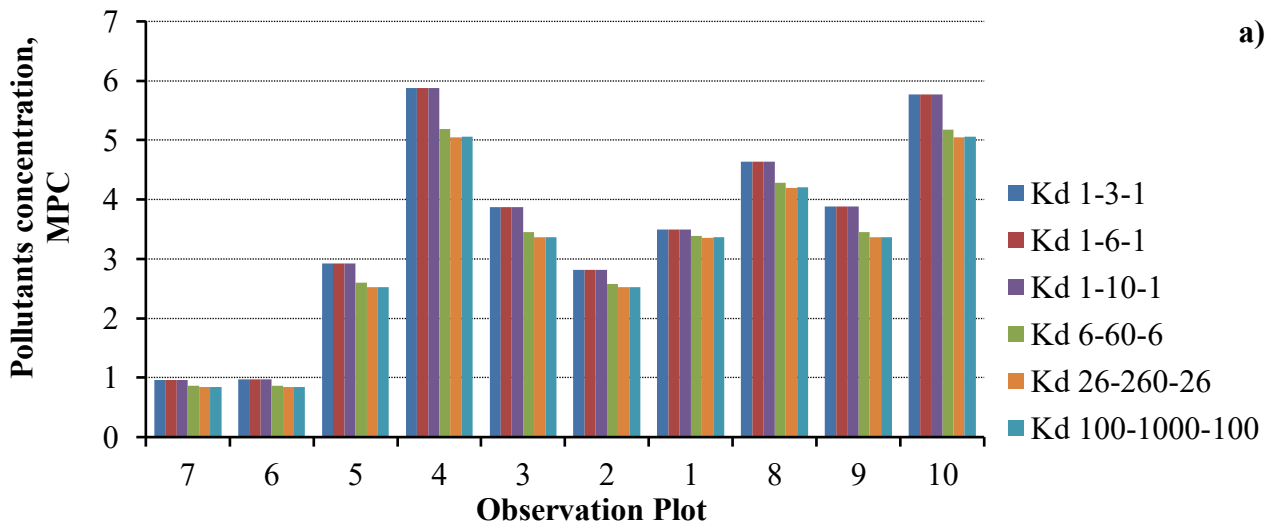


Fig. 6a, b. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile II: a) 30 years, Layer 1 with decay; b) 30 years, Layer 2 with decay.

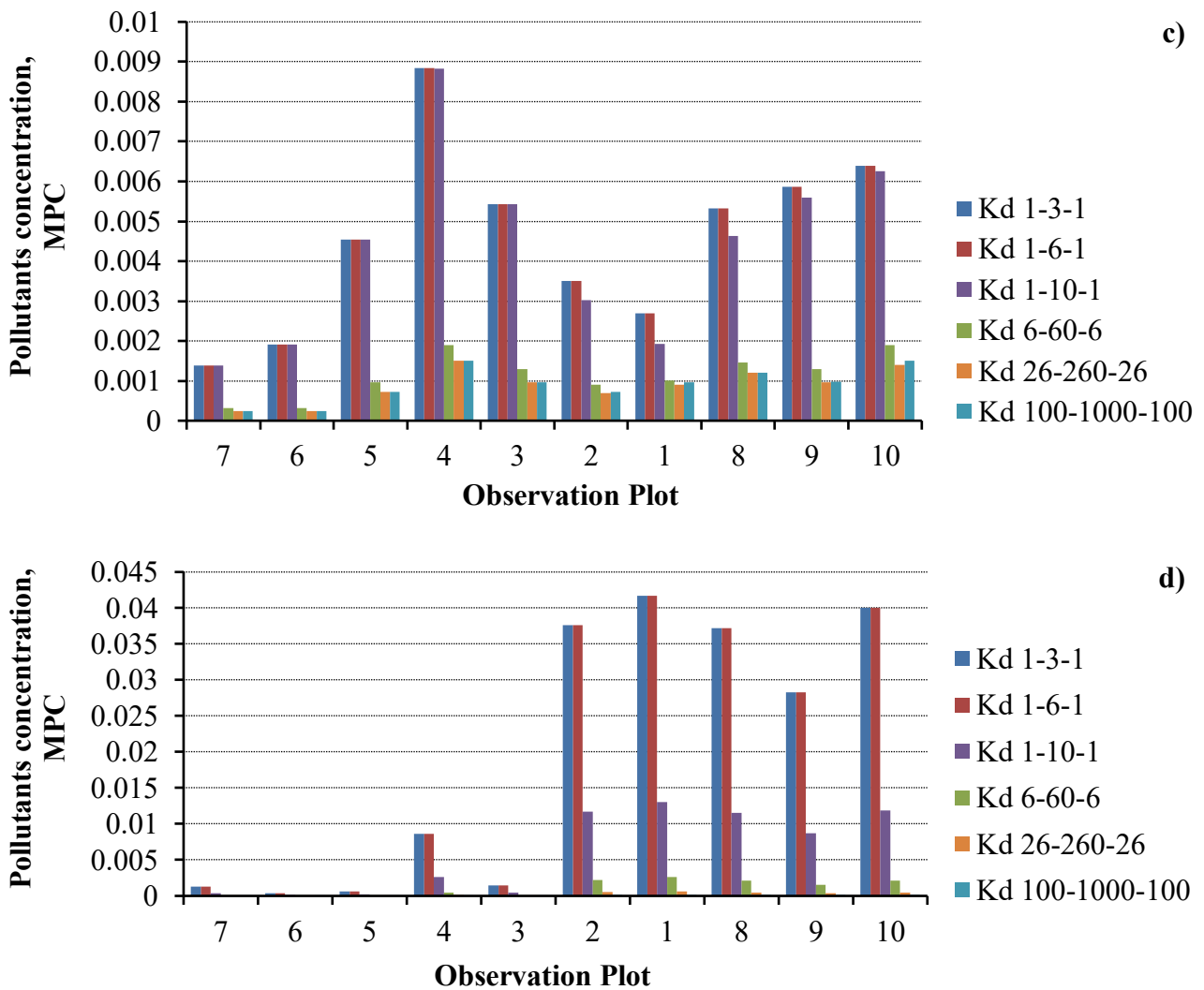


Fig. 6c, d. Distribution of pollutant concentrations for different Kd, Profile II: c) 300 years, Layer 1 with decay; d) 300 years, Layer 2 with decay.

Profile II-II. Changes in pollutants concentrations **with** and **without decay** in *the 1st layer* (Fig. 10a) are very insignificant (Tables 1, 2) and similar to those under Scenario 1-6-1. However, 60 years after the accident, the value **without decay** reached 6.7 MPC at the plot No. 9 compared to 4.2 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7a), due to the dispersion of the underground glow. *The 2nd layer* is quite similar to the 1st, i.e. its pollutants **with decay** accumulate and increase over time (Fig. 10b): for example, there was 0.006 MPC at the plot No. 1 after 30 years, but 0.013 MPC after 300 years. Pollutants **without decay** accumulate as well, from 0.008 MPC at No. 10 after 30 years to 0.065 MPC after 300 years.

Comparing this data with the previous scenario, we can say that accumulation decreased due to a better confinement that prevents them from penetrating onto the aquiclude. For example, **without decay** there was 0.11 MPC at No. 10 after 300 years under Scenario 1-6-1, but 0.065 MPC under Scenario 1-10-1; **with decay** there was 0.04 MPC under Scenario 1-6-1, but 0.012 MPC under Scenario 1-10-1.

Scenario 6-60-6, Profile I-I. The concentration of pollutants **without decay** decreases insignificantly in *the 1st layer* (Fig. 11a) compared to their starting values: for example, from 7.8 MPC at the plot No. 1 after 30 years compared to the initial 8 MPC and to 3.5 MPC **with decay**

(due to decay itself). These numbers indicate that pollutants are well-confined in the 1st layer due to the increased sorption at high K_d values in both layers.

The concentrations decrease in *the 2nd layer* (Fig. 11b): **without decay** there is 0.016 MPC at No. 1 after 300 years, but 3.5 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7b); **with decay** there is 0.0025 and 0.042 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7B).

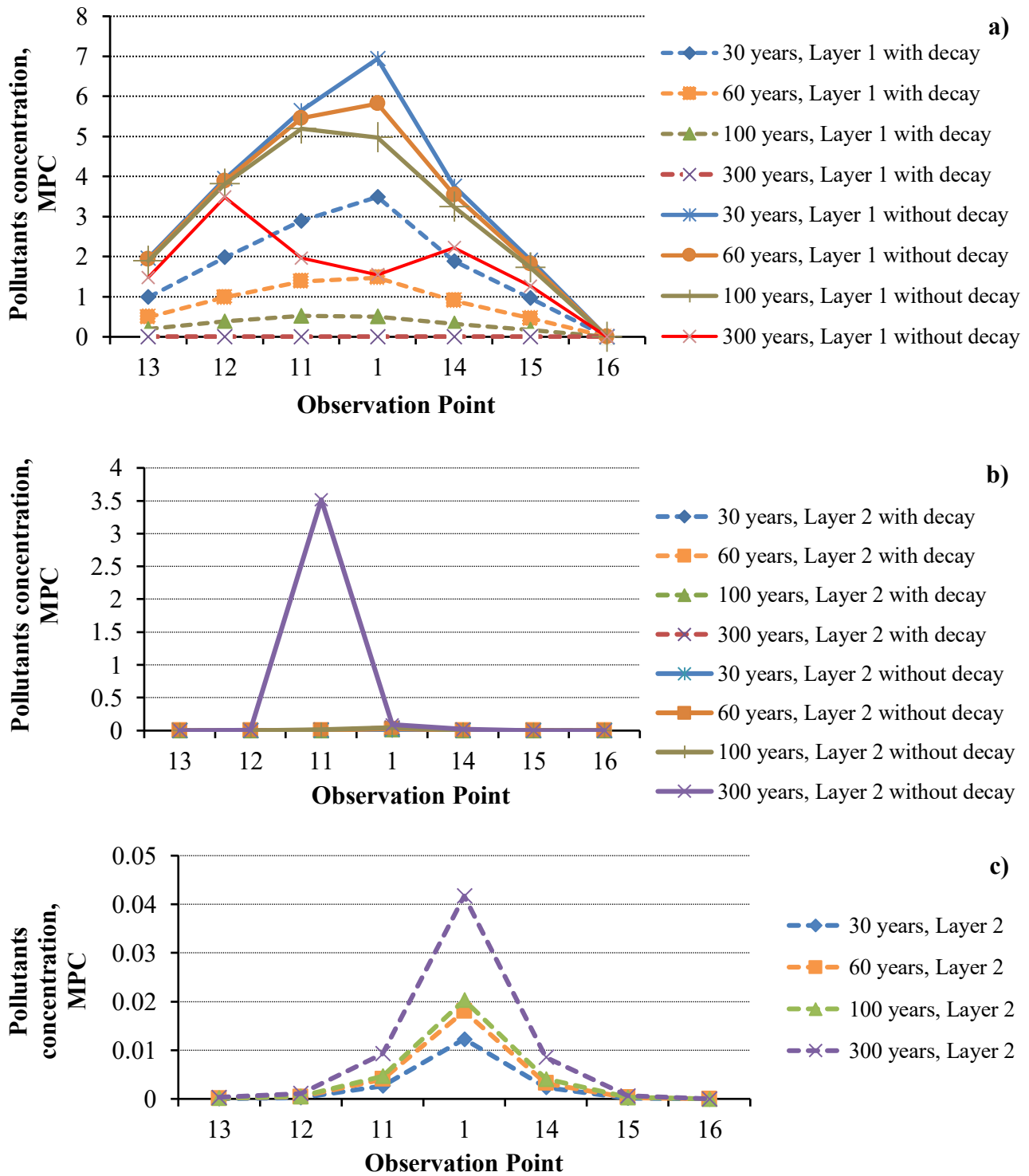


Fig. 7. Scenario K_d 1-6-1, distribution of pollutant concentrations over time: a) Profile I; b) Profile I, Layer 2 without decay; c) Profile I, Layer 2 with decay.

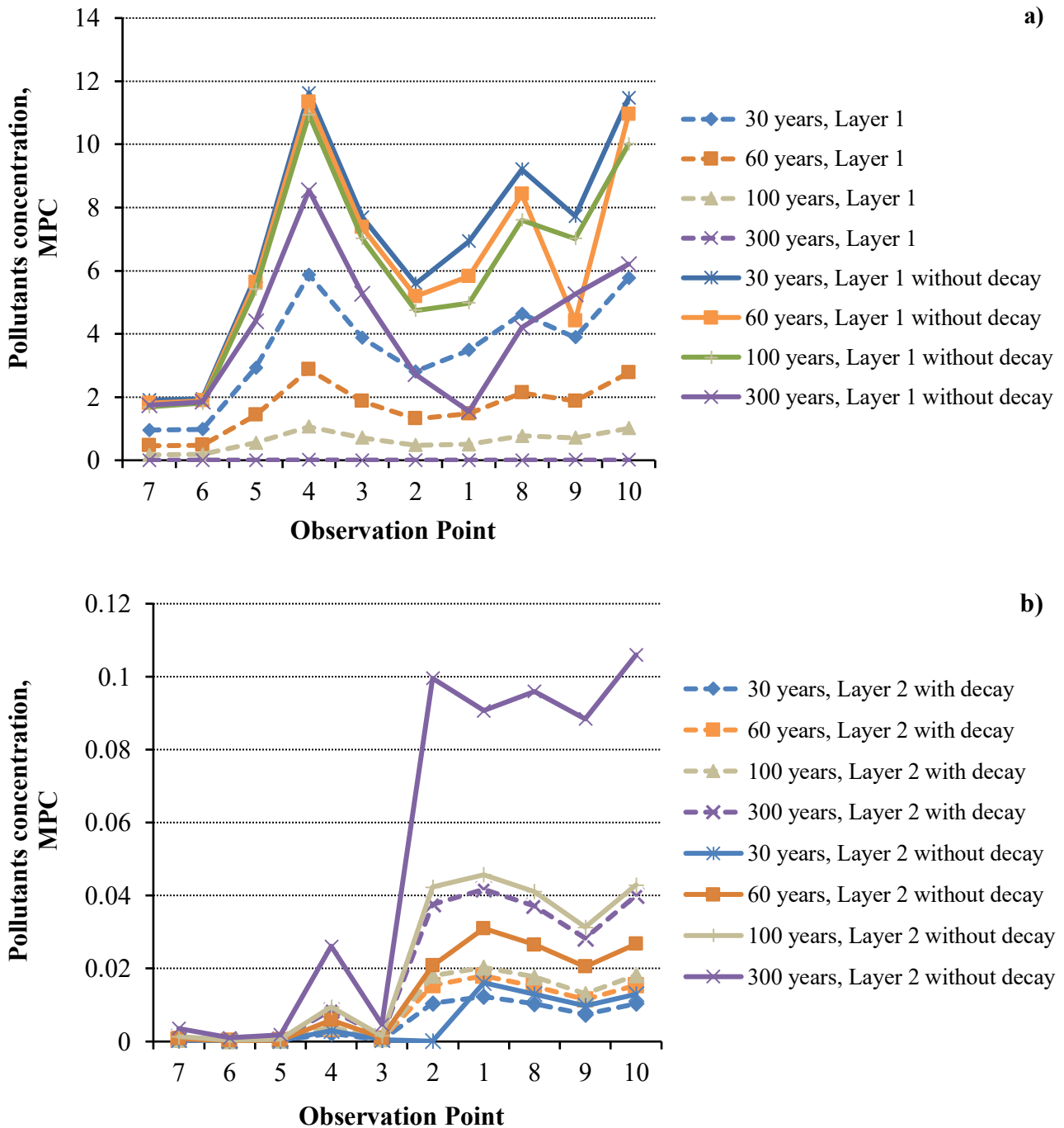


Fig. 8. Scenario Kd 1-6-1, distribution of pollutant concentrations depending on time: a) Profile II, Layer 1, b) Profile II, Layer 2.

Profile II-II. Just like in the I-I, the concentration of pollutants **without decay** slightly decrease in *the 1st layer* (Fig. 12a) compared to the initial values for all studied periods. For example, **without decay** it is 11.8 MPC at the plot No. 12 after 30 years compared to the initial 12 MPC; **with decay** it is 5.5 MPC (due to decay itself). These figures indicate that pollutants are well confined in the 1st layer due to an increasing role of sorption at high Kd in both layers. In *the 2nd layer* (Fig. 12b) the concentrations decrease: **without decay** it is 0.016 MPC at the plot No. 1 after 300 years, but 3.5 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7b); **with decay** it is 0.0015 and

0.042 MPC under Scenario 1-6-1 (Fig. 7c). In general, there is a trend similar to Scenario 1-6-1; however, the concentration **without decay** increased up to 0.009 MPC at No. 1 after 60 years due to the influence of hydrological dispersion where the groundwater supply is located (Fig. 2).

Further consideration of the model results for Scenarios 26-260-26 and 100-1000-100 is meaningless, because all pollutants are concentrated in the 1st layer, practically reaching zero in the 2nd (aquiclude; Tables 1, 2), which indicates the complete impermeability of the aquiclude within the studied profiles.

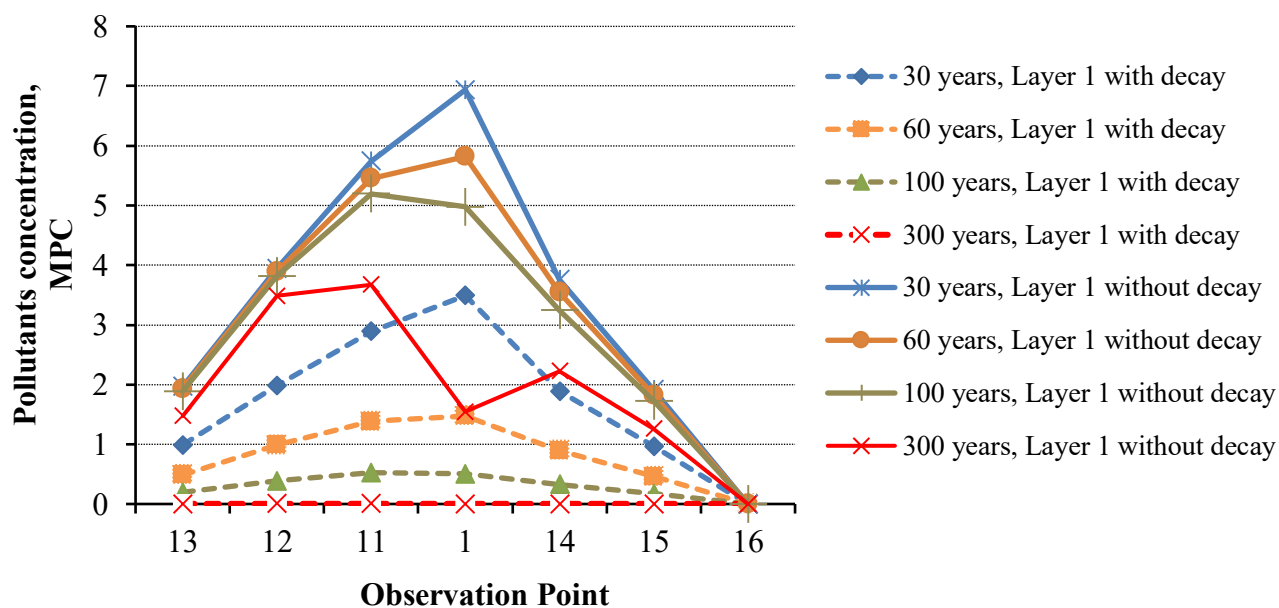


Fig. 9. Scenario Kd 1-10-1, distribution of pollutant concentrations depending on time, Profile I, Layer 1.

Discussion of results obtained during areal modeling

The results of areal modeling of pollutants migration in the study area are shown in Figure 13. We carried out modeling according to two scenarios: 1-3-1 for poorly sorbed pollutants and 100-1000-100 for highly sorbed ones, with and without decay, for the 1st layer (groundwater) and the 2nd layer (aquiclude), for two estimated periods of 30 and 300 years.

For this experiment, the surface contamination with ^{137}Cs radionuclide that appeared in the south of the Kaluga Region after the Chernobyl accident was taken as the initial contamination of groundwater. The Figure 1 shows that it consists of 2 isolated sections, western and eastern, within the radioactive zone, where the concentration of ^{137}Cs exceeds the MPC by more than 10 times.

Migration of poorly sorbed pollutants under Scenario 1-3-1 without decay throughout the study area (Fig. 13.1). **30 years after**, the configuration of areal pollution is still preserved in *the 1st layer* (Fig. 13.1A), but its maximum decreases to 9 MPC; in *the 2nd layer* (Fig. 13.1B) it changes greatly, appearing mainly in the eastern section and decreasing to 0.045 MPC.

300 years after, the pollution configuration changes greatly in *the 1st layer* (Fig. 13.1C), mainly remaining in the western section, while its maximum decreases to 7 MPC. In *the 2nd layer* (Fig. 13.1D) it also changes greatly, appearing mainly in the eastern section and increasing to 0.8 MPC compared to the initial concentration after 30 years.

Migration of highly adsorbed pollutants under Scenario 100-1000-100 without decay (Fig. 13.2). **30 years after**, the pollution configuration in *the 1st layer* (Fig. 13.2A) practically

matches the initial one (Fig. 1), and its maximum exceeds 10 MPC. In *the 2nd layer* (Fig. 13.2B), it changes greatly, appearing mainly in a small part of the eastern section and decreasing to 0.0003 MPC.

300 years after, the configuration changes slightly in *the 1st layer* (Fig. 13.2C), and its maximum decreases to 9 MPC. However, in *the 2nd layer* (Fig. 13.2D) it changes noticeably, appearing mainly in the eastern section and increasing to 0.04 MPC compared to the initial concentration after 30 years.

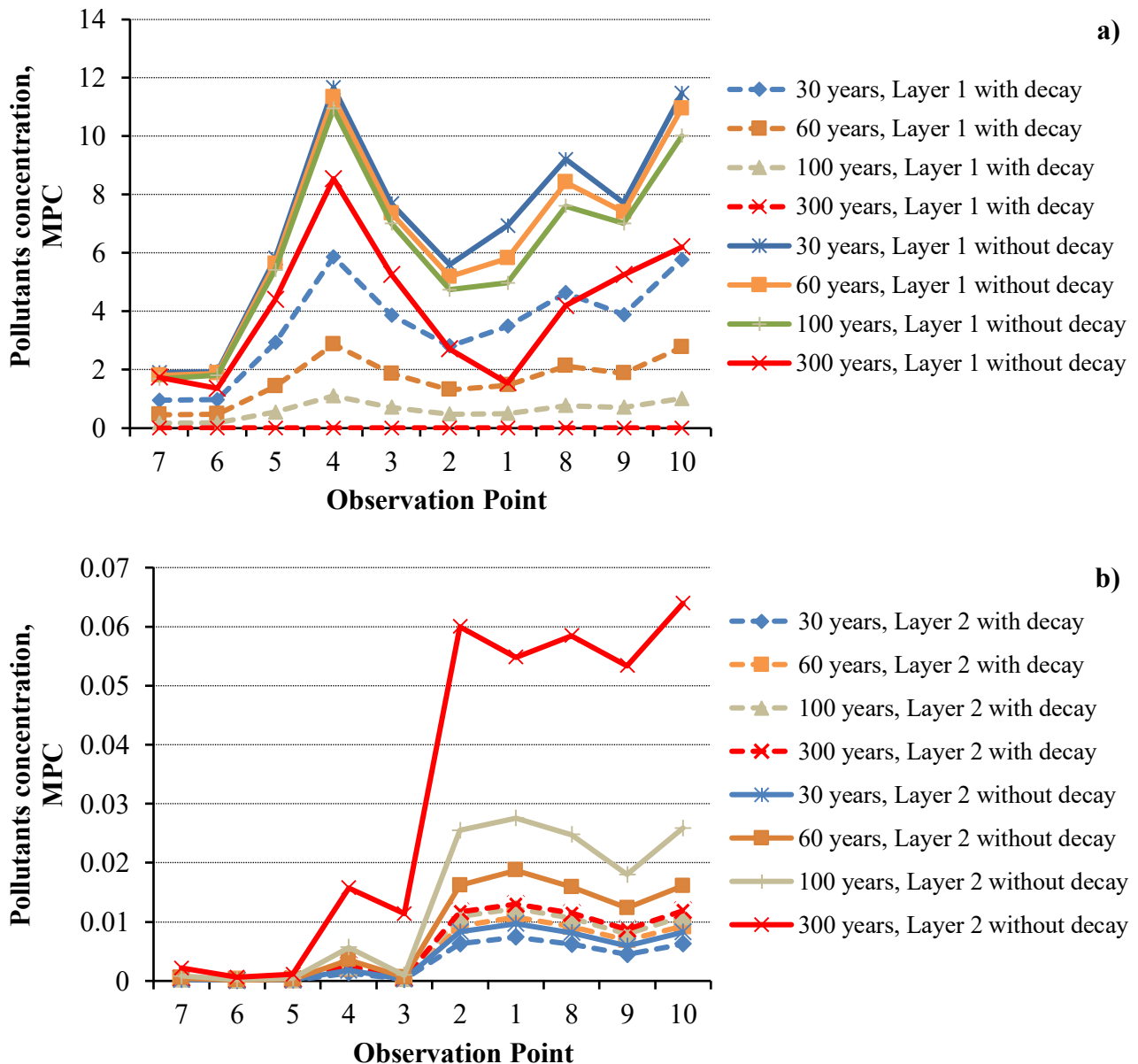


Fig. 10. Scenario Kd 1-10-1, distribution of pollutant concentrations depending on time, Profile II: a) Layer 1, b) Layer 2.

Migration of highly sorbed pollutants under Scenario 1-3-1 with decay (Fig. 13.3). **30 years after**, the configuration of areal pollution remains in *the 1st layer* (Fig. 13.3A), but its maximum decreases to 4.5 MPC. In *the 2nd layer* (Fig. 13.3B) it changes greatly, appearing mainly in the eastern section and decreasing to 0.02 MPC.

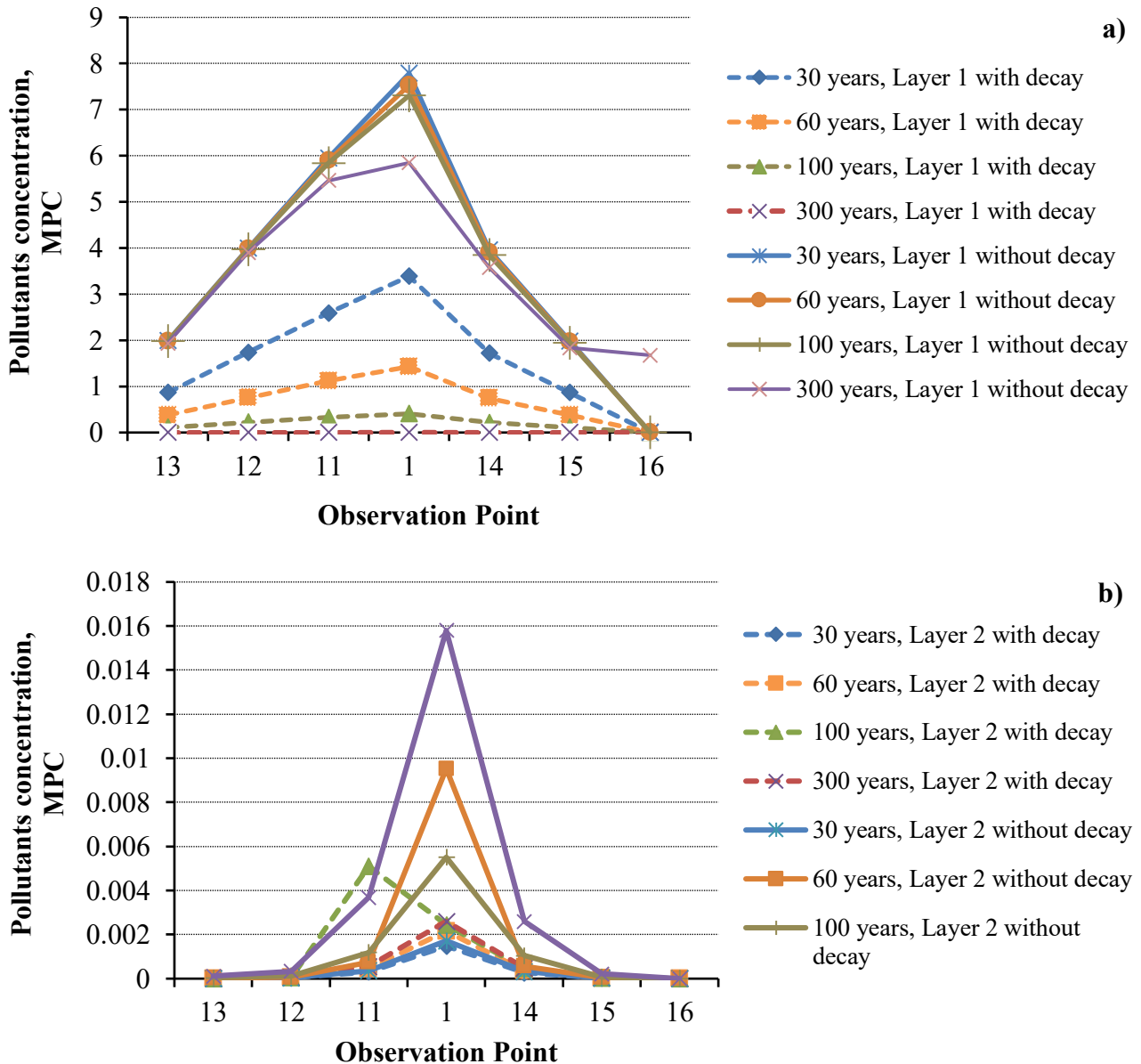


Fig. 11. Scenario Kd 6-60-6 Distribution of pollutant concentrations depending on time, Profile I: a) Layer 1, b) Layer 2.

300 years after, the pollution configuration in *the 1st layer* (Fig. 13.3C) changes greatly, with insignificant pollution in a limited part of the eastern section – up to 0.02 MPC compared to the initial 0.004 MPC. It changes greatly in *the 2nd layer* (Fig. 13.3D), appearing mainly in the eastern section; its area decreases compared to the initial area after 30 years, and its MPC increases to 0.04.

Migration of highly sorbed pollutants under Scenario 100-1000-100 with decay (Fig. 13.4). **30 years after**, the areal pollution configuration in *the 1st layer* (Fig. 13.4A) practically matches the initial one (Fig. 1), but its maximum exceeds 3.6 MPC; in *the 2nd layer* (Fig. 13.4B) it changes greatly, appearing mainly in an insignificant part of the eastern section and decreasing to 0.0003 MPC.

300 years after, the configuration changes slightly in *the 1st layer* (Fig. 13.4C), and its maximum decreases to 0.0009 MPC; in *the 2nd layer* (Fig. 13.4G), however, it changes greatly, appearing mainly in the eastern section and dropping to 0.0004 MPC.

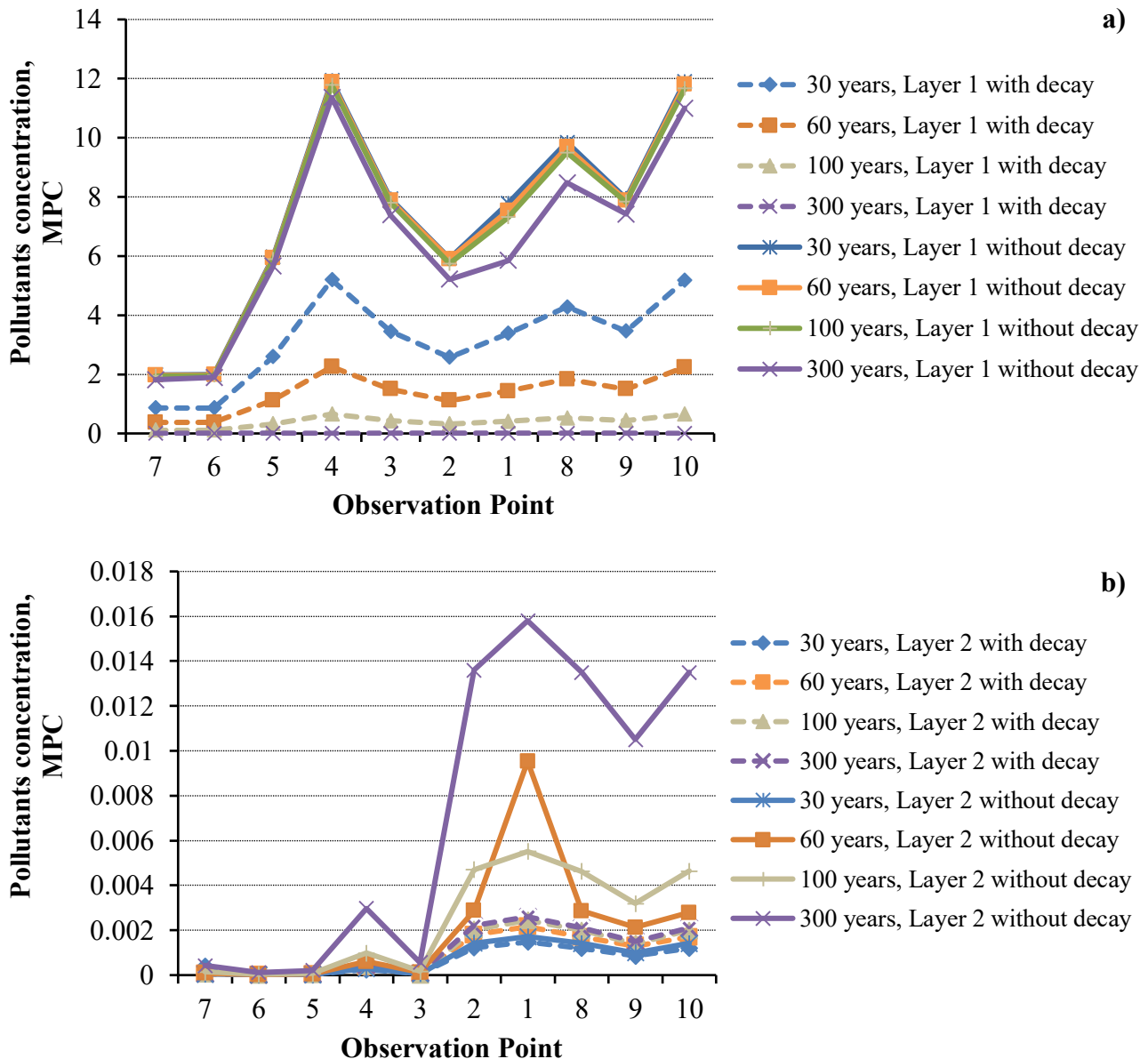


Fig. 12. Scenario Kd 6-60-6, distribution of pollutant concentrations depending on time, Profile II: a) Layer 1, b) Layer 2.

Therefore, poorly sorbed pollutants **without decay** remain in the western section after 300 years in the 1st layer, while pollutants of the eastern section tend to migrate and their insignificant amounts can be found in the 2nd layer (aquiclude).

Highly sorbed pollutants **without decay** remain in both areas in the 1st layer, with slightly different concentration compared to the ones after a 30-year period; in the 2nd layer their insignificant concentrations occupy a small part of the eastern section.

Poorly sorbed pollutants **with decay** are practically absent in the study area, but their traces can be found in the 1st layer of the eastern section, forming a small area in the 2nd layer in insignificant concentrations.

Highly sorbed pollutants **with decay** remain in both areas in the 1st layer, and their concentration significantly differs from the 30-year period, decreasing to 0.0009 MPC, which is considered small, meaning those are only traces. In the 2nd layer, their insignificant concentrations

occupy a small area of the eastern section.

This indicates that ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides will completely decay within 10 half-lives.

Comparison current results with the previous research stage

Further below we consider specificity of the pollutant migration through a permeable aquiclude that we studied on the previous stage of this research (Belousova and Rudenko, 2021a, 2021b) and the one studied at the current stage. Modeling results of both stages are shown as 3D maps in Figure 14.

To study the permeable aquiclude (Fig. 14A), we set K_d equal for all three layers (6-6-6), while for the impermeable aquiclude (Fig. 14B), we set K_d higher than its values in the groundwater of the 1st and 3rd layers (1- 3-1).

With the *permeable aquiclude* (Fig. 14A), the migration of pollutants **without decay** occurs in all layers over 300 years. In the 1st layer (groundwater) MPC does not exceed 4; in the 2nd layer pollutants accumulate intensively up to 4 MPC; in the 3rd layer (pressure waters) accumulation is up to 2 MPC in some areas.

With the *impermeable aquiclude* (Fig. 14B) **without decay** the intensity of migration varies greatly in all layers over 300 years. In the 1st layer there are significant concentrations above 5 MPC; in the 2nd layer this process is very isolated, its area decreases, and its MPC drops to 3; in the 3rd layer this process is limited and the concentrations are insignificant – up to 0.05 MPC. It should be noted that pollutant migration was not found in any of the points of the 3rd layer of both profiles.

Conclusions

The object of our studies was the part of the Kaluga Region, most affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

There is almost no experimental data on the radionuclides migration in the saturated zone (groundwater) and their parameters, and only some parts of the Bryansk Region were explored superficially in the radioactive zone caused by the accident. However, they mostly belong to the unsaturated or protective zone. Therefore, instead of field or laboratory studies, we chose numerical experiments and carried them out for the region.

Numerical experiments study the migration of pollutants in the saturated zone, i.e. their flow from groundwater through the aquiclude to pressure groundwater. In this study, we considered both ^{137}Cs and ^{90}Sr and other pollutants, from poorly sorbed to highly sorbed ones, found in the pressure waters of the studied territory.

To simulate the process of mass transfer in groundwater, the MT3D model based on MODFLOW was chosen. Along with flow hydrological dispersion, this model takes into account the sorption of pollutants and radioactive decay.

Given that geological, hydrogeological and hydrogeochemical data concerning the studied object do not guarantee a sufficient reliability of our forecasts, especially in the case with aquicludes, the study was carried out in two stages. Results of the first stage (migration of through a permeable aquiclude) have been already completed and published by our crew (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b), while the results of the second (migration through an impermeable aquiclude) are given in this article.

Numerical experiments of the second stage were carried out according to the following scenarios: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), and 6 – (100-1000-100), where the first digit is the K_d value (l/kg) in the 1st layer, the second digit – 2nd layer, the third digit – 3rd layer. This set of coefficients was determined by the fact that their values were assigned to be higher in the aquiclude than in the upper and lower aquifers. Each scenario was applied for two conditions: with and without radioactive decay.

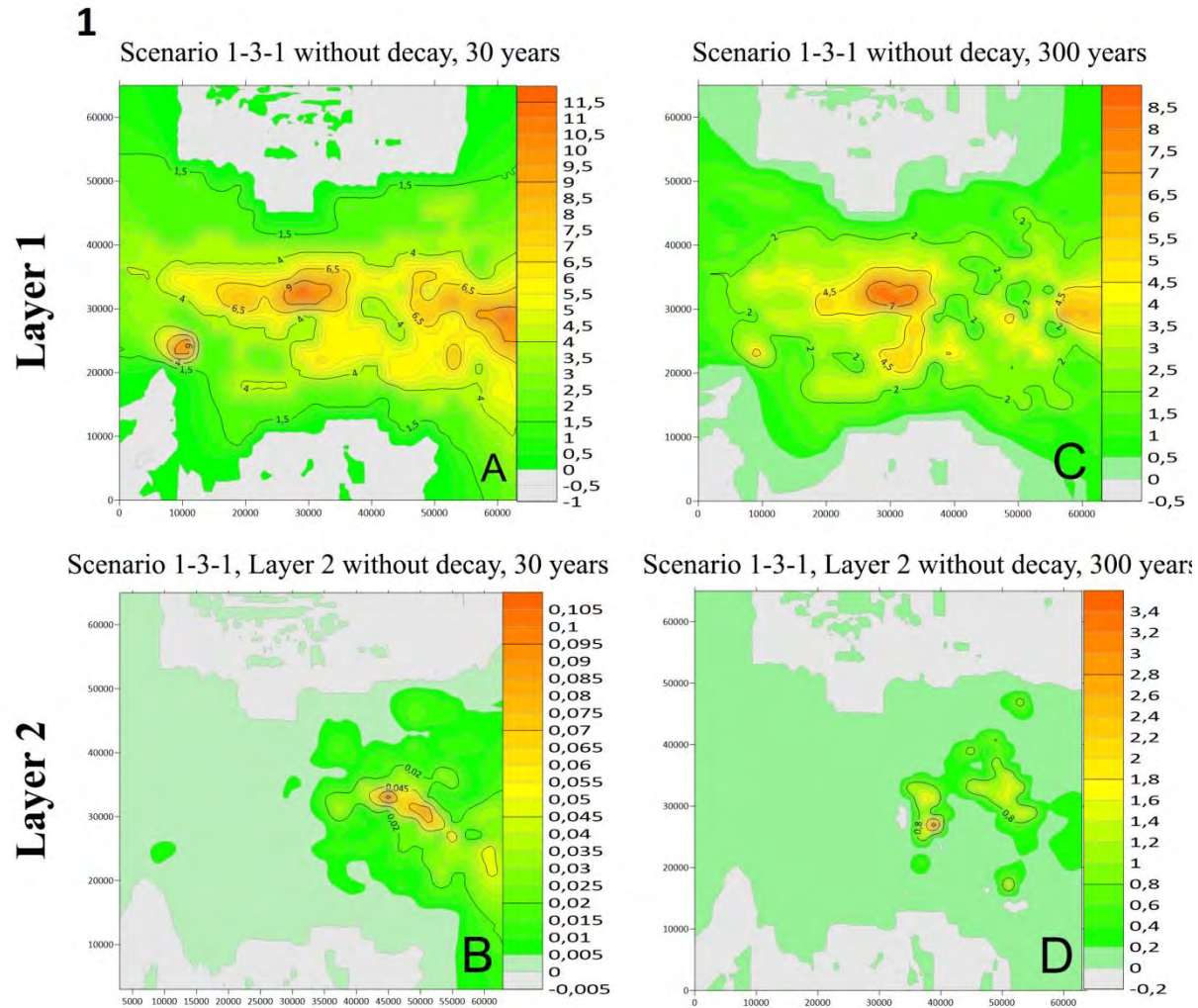


Fig. 13.1. Cartographic chart of the distribution of concentrations of we poorly akly sorbed (Scenario 1-3-1) and highly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

2

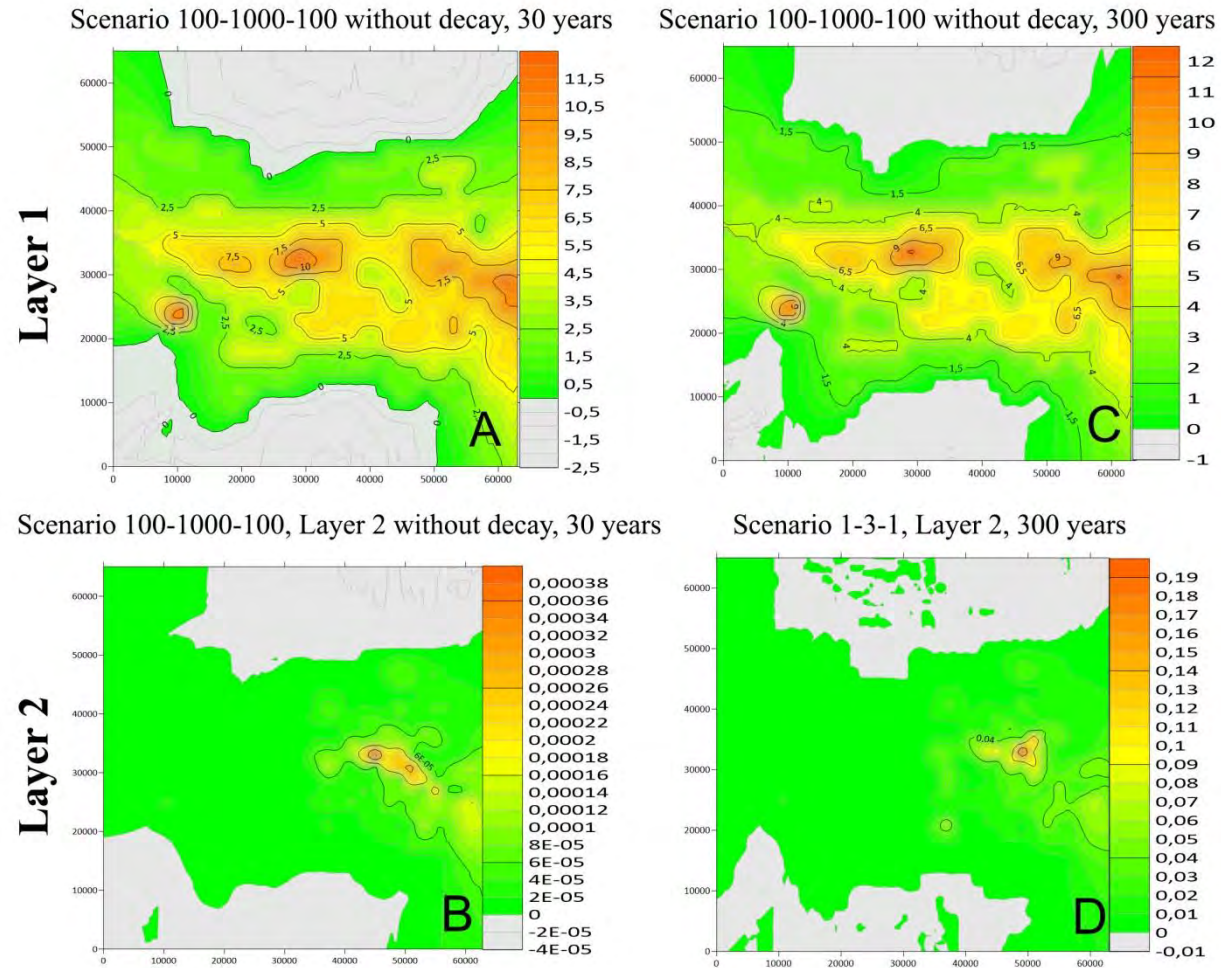


Fig. 13.2. Cartographic chart of the distribution of concentrations of poorly sorbed (Scenario 1-3-1) and highly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

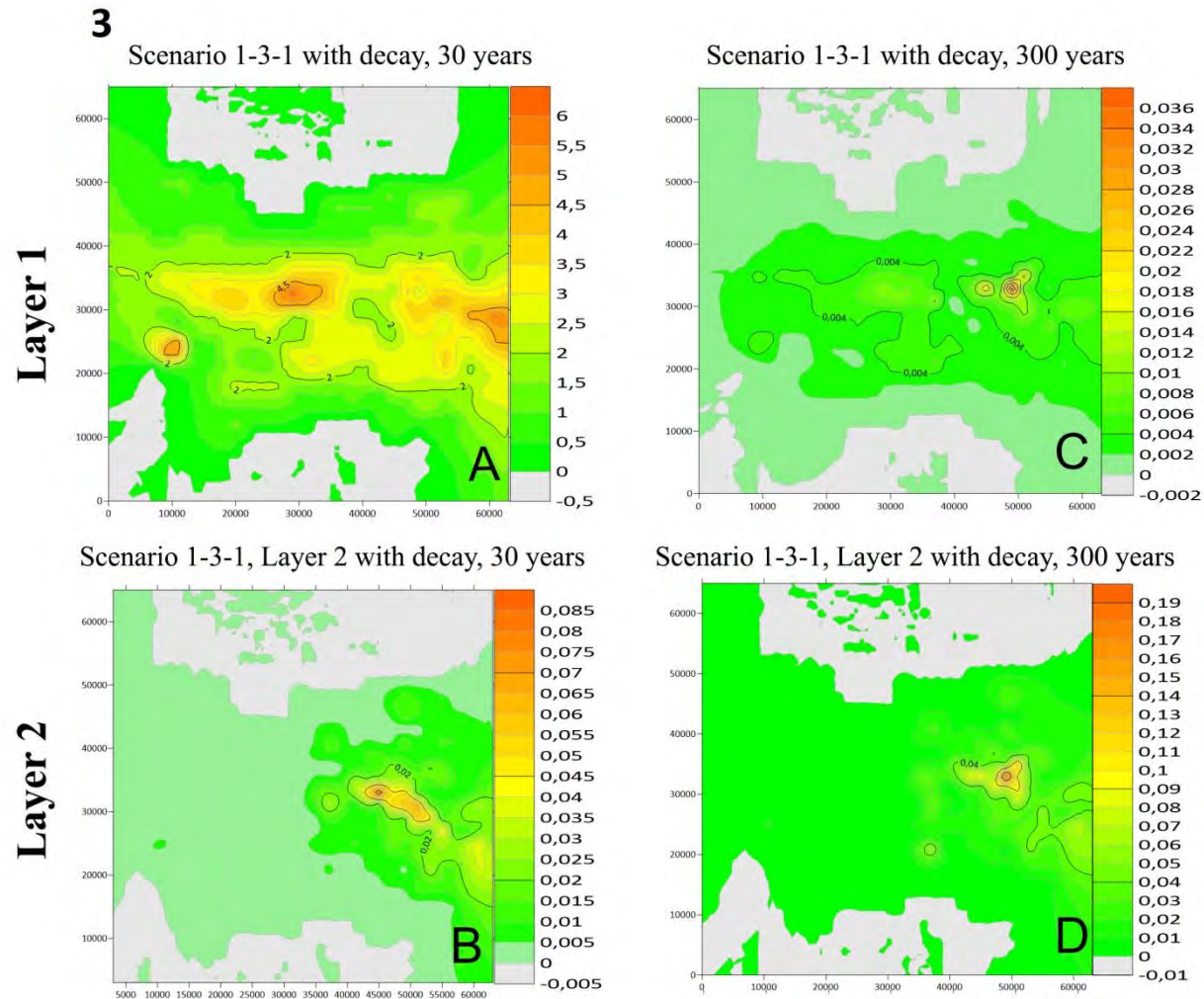


Fig. 13.3. Cartographic chart of the distribution of concentrations of poorly sorbed (Scenario 1-3-1) and highly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

4

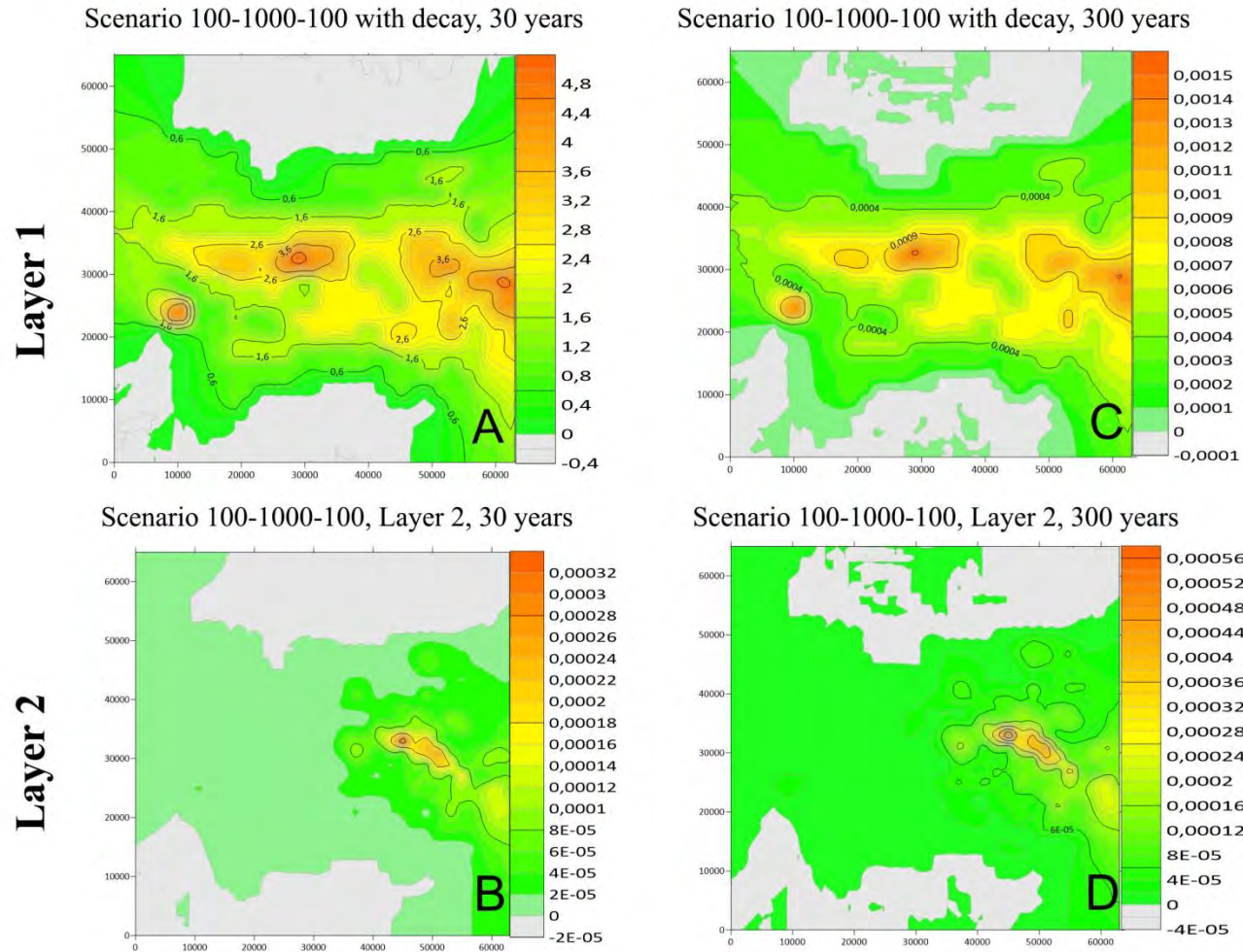


Fig. 1.4. Cartographic chart of the distribution of concentrations of poorly sorbed (Scenario 1-3-1) and highly sorbed (Scenario 100-1000-100) pollutants in the simulated area with/without decay.

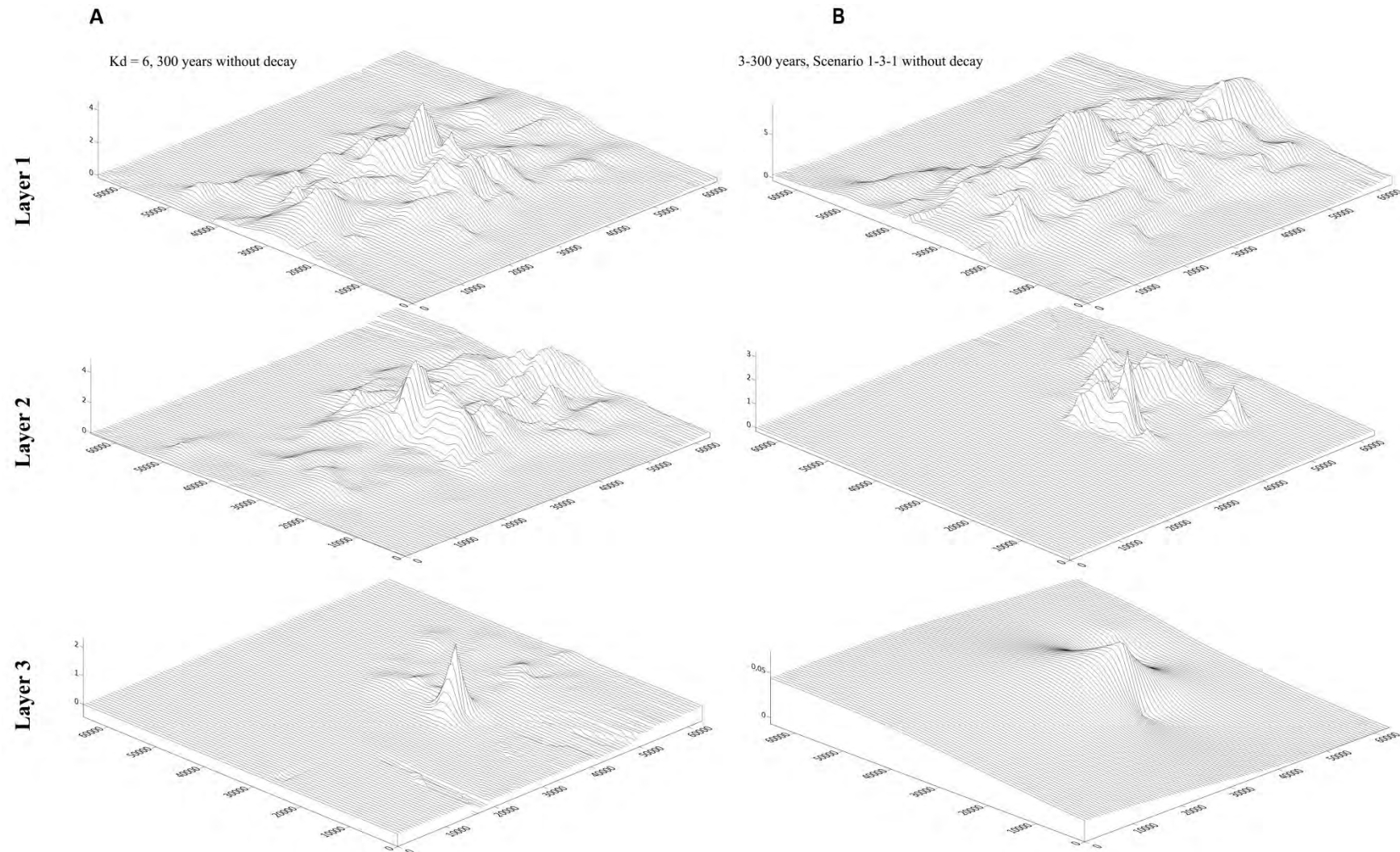


Fig. 14. Comparison of scenarios with permeable (A) and impermeable (B) aquiclude.

The degree of groundwater contamination was taken as the initial conditions, similar to the contamination degree of the surface in the radioactive zone of the study area. However, such a wide spread of contamination by radionuclides or other pollutants is not observed in the groundwater under natural conditions in this area. The pollutants concentration can be determined in g/l, Bq/l, maximum permissible concentration (MPC) or background concentrations; but we prefer to use MPC. Coefficients of pollutant sorption distribution (K_d) of various pollutants were selected from the known values for the Bryansk Region (Belousova, Rudenko, 2021a, 2021b); the radionuclides K_d values mainly refer to the unsaturated zone of contamination.

Analysis of the modeling results obtained during the numerical experiments was carried out for 2 profiles and for the studied territory, using maps.

We established that, as K_d increases, the high concentration of pollutants remains in groundwater, while poorly sorbed pollutants with minimal K_d can partially remain in the aquiclude. It should be noted that in the 3rd layer (pressure waters) pollutants were not found at all, although they appear at other plots.

According to K_d values, we found out that at $K_d \geq 60$ l/kg, pollutants cannot penetrate into the aquiclude, i.e. the aquiclude is almost impermeable. For radionuclides, the radioactive decay plays the main role in their migration: for example, 30 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr decreased by half, because 30 years is their actual half-life; therefore, in the next 300 years they will completely decay. For non-radioactive pollutants, the process is different: they accumulate in the aquiclude and penetrate into pressure waters, significantly worsening the local ecology, while other long-lived radionuclides (such as plutonium-209) have a half-life of 24,095 years and will pose a severe danger in those areas of the nuclear fuel fallout (such is the area of the Chernobyl nuclear power plant itself).

The main factors forming the pollutants migration are their radioactive decay, their sorption properties and, finally, the hydrological dispersion of groundwater flows, which in turn depends on the geological and hydrogeological conditions of the area.

Results of both research stages. With the *permeable aquiclude*, the migration of pollutants without decay occurs in all layers over 300 years. With the *impermeable aquiclude* without decay the intensity of migration varies greatly in all layers over 300 years: in the 1st layer there are significant concentrations found; in the 2nd layer this process is very isolated, its area and concentration decrease; in the 3rd layer this process is limited.

However, neither of these aquicludes can exist separately under natural conditions, because usually confining strata is like a patchwork quilt, since it is made of several areas with both impermeable and permeable aquicludes. Aquicludes cannot be impenetrable throughout their entire length, because they contain natural disturbances, such as lenses, permeable rocks, neotectonic cracks, and artificial disturbances, such as drilling wells.

Therefore, in order to study the processes of pollutant migration and predict their further development under complex hydrogeological conditions, it is necessary to study thoroughly the geological and hydrogeological structure, as well as the hydrogeochemical conditions of the chosen objects territories, and to conduct experimental studies of mass transfer in order to parameterize all the processes causing it, for the further numerical modeling and forecasting of the development of the real ecological situation at the research areas.

Acknowledgments. We would like to thank Yu.V. Minyaeva who prepared materials for this article before her saddening demise.

Funding. This work was carried out for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, No. FMWZ-2022-0002 “Research of Geocological Processes in Hydrological Systems of Land, Formation of the Quality of Surface and Ground Waters, Problems of Water Resources Management and Water Use under Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impacts”.

REFERENCES

1. Antonov KA, Kiryakova EA, Rudenko EE. Modeling the process of geofiltration in the Kaluga region (in the zone of the radioactive trace) [*Modelirovaniye protsessa geofil'tratsii na uchastke Kaluzhskoy oblasti (v zone radioaktivnogo sleda)*] *Water resources, ecology and hydrological safety [Vodnyye resursy, ekologiya i gidrologicheskaya bezopasnost'] VII international conference of young scientists and talented students, December 11-13, 2013 [VII mezhdunarodnaya konferentsiya molodykh uchenykh i talantlivykh studentov]*. Moscow: IVP RAN, 2013:121-125.
2. Belousova AP. Assessment of the risk of groundwater pollution as a component of the environment [Otsenka opasnosti zagryazneniya podzemnykh vod kak komponenta okruzhayushchey sredy] *Water: chemistry and ecology [Voda: khimiya i ekologiya]*. 2015;12:31-40.
3. Belousova AP, Rudenko EE. Ecological and hydrogeological studies in the territories of the European part of Russia affected by the Chernobyl accident [Ekologo-gidrogeologicheskiye issledovaniya na territoriyakh yevropeyskoy chasti Rossii, postradavshikh ot avarii na CHAES] *Water treatment, water treatment, water supply [Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzheniye] Industrial and technical magazine [Proizvodstvenno-tekhnicheskiy zhurnal]*. 2019;4 (136):38-56.
4. Belousova AP, Rudenko EE. Transformation of vulnerability of groundwater to radioactive pollution in the Chernobyl track zone in the territory of Kaluga Region [Transformatsiya uyazvimosti gruntovykh vod k radioaktivnomu zagryazneniyu v zone Chernobyl'skogo sleda na territorii Kaluzhskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2020;4 (1):18-103.
5. Belousova AP, Rudenko EE. Modeling of the polluted groundwater flow into confined water in the forest ecosystems by the example of the Kaluga Region in the radioactive contamination zone. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2021a;5 (3):147-182.
6. Belousova AP, Rudenko EE. Evaluation of the conditions for the penetration of pollutants,

REFERENCES

1. Антонов К.А., Кирьякова Е.А., Руденко Е.Э. 2013. Моделирование процесса геофильтрации на участке Калужской области (в зоне радиоактивного следа) // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: VII международная конференция молодых ученых и талантливых студентов, 11-13 декабря 2013 г. М.: ИВП РАН. С. 121-125.
2. Белоусова А.П. 2015. Оценка опасности загрязнения подземных вод как компонента окружающей среды // Вода: химия и экология. № 12. С. 31-40.
3. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2019. Эколого-гидрогеологические исследования на территориях европейской части России, пострадавших от аварии на ЧАЭС // Водочистка, водоподготовка, водоснабжение. Производственно-технический журнал. № 4 (136). С. 38-56.
4. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2020. Трансформация уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению в зоне Чернобыльского следа на территории Калужской области // Экосистемы: экология и динамика. Т. 4. № 1. С. 18-103.
5. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2021a. Моделирование процессов перетекания загрязненных грунтовых вод в напорные в лесных экосистемах на примере Калужской области в зоне радиоактивного следа // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 3. С. 147-182. [Belousova A.P., Rudenko E.E. 2021a. Modeling of the polluted groundwater flow into confined water in the forest ecosystems by the example of the Kaluga Region in the radioactive contamination zone // *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. Vol. 5. No. 3. P. 192-224.]

- including radionuclides, into pressure groundwater [Otsenka usloviy proniknoveniya zagryaznyayushchikh veshchestv, vklyuchaya radionuklidy, v napornyye podzemnyye vody] *Vodoochistka. Water Treatment. Water Supply [Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye] Industrial and Technical Magazine [Proizvodstvenno-tekhnicheskii zhurnal]*. 2021b;3 (159):18-31.
7. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240 [*Dannyye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naseionnykh punktov Rossiyskoy Federatsii tseyiem-137, strontsiyem-90 i plutoniem-239+240*] / ed. СМ. Vakulovsky, V.N. Yakhryushin. Obninsk: FGBU NPO Tayfun, 2018: 15.
 8. Radiation situation in Russia and neighboring states in 2018 [*Radiatsionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2018 godu*]. Obninsk: FGBU NPO Tayfun, 2019:324.
 9. Map of the radiation situation on the territory of the European part of the USSR as of December 1990 [*Karta radiatsionnoy obstanovki na territorii yevropeyskoy chasti SSSR po sostoyaniyu na dekabr' 1990 g.*] *Density of contamination of the area with cesium-137 [Plotnost' zagryazneniya mestnosti tseyiem-137]*. Moscow: Goskomgidromet SSSR, 1991:I-35-A.
 10. Zheng C, Papadopulos SS. A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Systems Contaminant in Groundwater. The Unites States Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Inc. Ada, Oklahoma, 1990:231.
 6. Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2021б. Оценка условий проникновения загрязняющих веществ, включая радионуклиды, в напорные подземные воды // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. Производственно-технический журнал*. № 3 (159). С. 18-31.
 7. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240. 2018 / Ред. С.М. Вакуловский, В.Н. Яхрюшин. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 15 с.
 8. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году. 2019. Обнинск: НПО «Тайфун». 324 с.
 9. Карта радиационной обстановки на территории европейской части СССР по состоянию на декабрь 1990 г. 1991. Плотность загрязнения местности цезием-137. М.: Госкомгидромет СССР. Л. И-35-А.
 10. Zheng C., Papadopulos S.S. 1990. A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Systems Contaminant in Groundwater. The Unites States Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Inc. Ada, Oklahoma. 231 p.

УДК 556.383/388:504(571.1)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ МИГРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

© 2023 г. А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко, К.Г. Власов

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: anabel@iwr.ru, belanna47@mail.ru

Поступила в редакцию 27.02.2023. После доработки 25.05.2023. Принята к публикации 26.05.2023.

Цель статьи – изучение методом математического моделирования процессов миграции различных, от слабо до сильно сорбируемых загрязняющих веществ (ЗВ), включая радионуклиды, из грунтовых в напорные подземные воды через раздельный слой – водоупор различной степени проницаемости. В практике гидрогеологических исследований существует такое направление, как поиски и разведка месторождений подземных вод. Первая стадия – поиск, осуществляется на практически неизученных территориях, а вторая – разведка, ограничивается территориями, где по данным первой стадии выявляют перспективные территории.

Данные исследования можно отнести к первой, поисковой стадии, когда изученность территории в рамках заданной тематики практически отсутствует для выбранной территории Калужской области, пострадавшей от аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС). Поиск был сосредоточен на изучении миграции загрязняющих веществ в грунтовых водах, а из них – через водоупор в напорных водах. Направление поиска определялось способностью водоупоров пропускать через себя ЗВ с одной стороны (самые неблагоприятные для подземных вод условия), а с другой – не пропускать ЗВ (благоприятные условия). В природных и в техногенных условиях оба случая не существуют по отдельности (они сливаются), что требует хорошей геолого-гидрогеологической изученности территории, отсутствующей для изучаемой местности. Наши исследования были проведены по обоим направлениям поисковых исследований, для первого случая водоупор принимался проницаемым, для второго – непроницаемым.

Для каждого типа поисковой стадии были проведены как бы разведочные численно-экспериментальные исследования (численный эксперимент) с применением математического моделирования. Объектом исследований является часть территории Калужской области, наиболее пострадавшая от аварии на ЧАЭС. Исследования по первому направлению были завершены и опубликованы ранее (Белоусова, Руденко, 2021а, б). Результаты второй стадии и обобщающие результаты исследований обоих поисковых направлений приводятся в настоящей статье. На данном этапе продолжается исследование процессов миграции различных ЗВ, включая радионуклиды, из грунтовых вод в напорный водоносный горизонт через непроницаемый водоупор по тем же разрезам, что и для первого направления, но по несколько измененным сценариям и с другим набором коэффициентов распределения сорбции ЗВ (K_d).

Численные эксперименты второго этапа проводилось по следующим сценариям: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). Первая цифра – значение K_d (л/кг) в первом слое, вторая – во втором слое, третья – значение в третьем слое. Такой подбор коэффициентов распределения обусловлен заданием их значений на порядок больше в водоупоре, чем в верхнем и нижнем водоносных горизонтах.

Каждый сценарий проводился для двух условий: с радиоактивным распадом и без распада. За начальные условия была принята степень загрязнения грунтовых вод по аналогии со степенью загрязнения поверхности земли в зоне радиоактивного следа на изучаемой территории, хотя в природных условиях на этой территории в грунтовых водах такого распространения загрязнения ни радионуклидами, ни другими ЗВ не наблюдается. Концентрации ЗВ могут быть заданы в г/л, ПДК, фоновых концентрациях; в нашем случае использовались ПДК. Коэффициенты распределения сорбции различных ЗВ подбирались из известных значений для территорий Брянской области (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б),

для радионуклидов значения K_d в основном относятся к ненасыщенной зоне.

Установлено, что главными факторами формирования процессов миграции ЗВ являются в первую очередь радиоактивный распад ЗВ, во вторую – сорбционные свойства ЗВ, а в третью – гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории и степени проницаемости водоупора. Рассмотренная ситуация свидетельствует о том, что водоупоры не являются полной гарантией, обеспечивающей защищенность напорных подземных вод от загрязнения.

Ключевые слова: грунтовые воды, подземные напорные воды, моделирование процессов миграции, загрязняющее вещество, радионуклиды, сорбция, радиоактивный распад.

Благодарности. Авторы выражают благодарность безвременно ушедшей сотруднице Миняевой Ю.В. за подготовку материалов к данной статье.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем РАН: тема № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-40-72

EDN: UEXKOC

===== МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ =====
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 574, 574.5, 574.52

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ СЕРТИФИКАЦИИ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ**

© 2023 г. Е.В. Чуприна

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: k_korda@mail.ru

Поступила в редакцию 02.03.2023. После доработки 30.04.2023. Принята к публикации 05.05.2023.

Тенденции в развитии аквакультуры последнего времени позволяют предположить, что в Российской Федерации морская аквакультура является одной из точек роста рыбохозяйственного комплекса. Масштабы аквакультурного производства и торговли возрастают. Как и любая другая человеческая деятельность в природных водоемах, промышленная аквакультура оказывает воздействие на окружающую водную среду, в особенности на прибрежные акватории. Возможное применение сертификации в области аквакультуры рассматривается как один из эффективных инструментов для минимизации возможных негативных последствий в окружающей среде, а также для повышения доверия со стороны потребителя. Существование стихийной аквакультуры без внедрения сертификации экологичности производства в будущем может серьезно ограничить развитие отрасли. В этой связи анализ международного опыта в сфере сертификации аквакультурных хозяйств Попечительского совета по аквакультуре (Aquaculture Stewardship Council) является актуальным для России с целью обновления и развития имеющейся нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: аквакультура, сертификация аквакультуры, мониторинг.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-73-87

EDN: NOVXMW

Аквакультура – это разнообразный производственный сектор, объединяющий множество различных систем, объектов, мощностей, технологий, процессов и продуктов, который действует в рамках широкого спектра экономических и экологических условий (Техническое руководство ..., 2011). Морская аквакультура развивается в прибрежных акваториях, которые являются одними из наиболее уязвимых природных экосистем в условиях антропогенного воздействия. Стихийные методы хозяйственного использования природной среды без надлежащего государственного мониторинга в пределах прибрежной акватории зачастую наносят непоправимый вред их высокой биопродуктивности и экологии района в целом, а также существенно снижают качество биологического сырья и могут создавать ситуации, опасные для здоровья человека (Вейдеман и др., 2001).

По статистическим данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (Food and Agriculture Organization, FAO), объем производства продукции аквакультуры в мире в 2018 году вырос до рекордного уровня – 114.5 млн. тонн в живом весе (рис. 1). По данным Росрыболовства, производство аквакультуры в России за 2018 год выросло на 5.6% – до 232 тыс. тонн (рис. 2). В Российской Федерации на октябрь 2020 г. функционировало около 4600 рыбоводных хозяйств, при этом также возросли опасения по поводу их возможного негативного воздействия на окружающую среду и потребителей. Согласно международному опыту, применение сертификации в области аквакультуры рассматривается как один из потенциальных рыночных инструментов для минимизации возможных негативных последствий, повышения уровня общественных и потребительских выгод и доверия к производству и сбыту продукции аквакультуры.

В случае правильной организации аквакультура является альтернативой промышленному рыболовству при производстве и обеспечении населения белковой пищей.

Охрана окружающей среды становится сегодня одним из ключевых вопросов в сфере развития аквакультуры, аквакультурных технологий и систем. Существование аквакультуры без внедрения сертификации производства и продукции может в будущем серьезно ограничить развитие отрасли в связи с растущей конкуренцией со стороны других ресурсопользователей. Как и антропогенная деятельность в природных водоемах, аквакультура оказывает воздействие на окружающую водную среду, в особенности на прибрежные экосистемы. Морская аквакультура (фото 1-2) традиционно основывается на двух принципах получения товарной продукции природных экосистем.

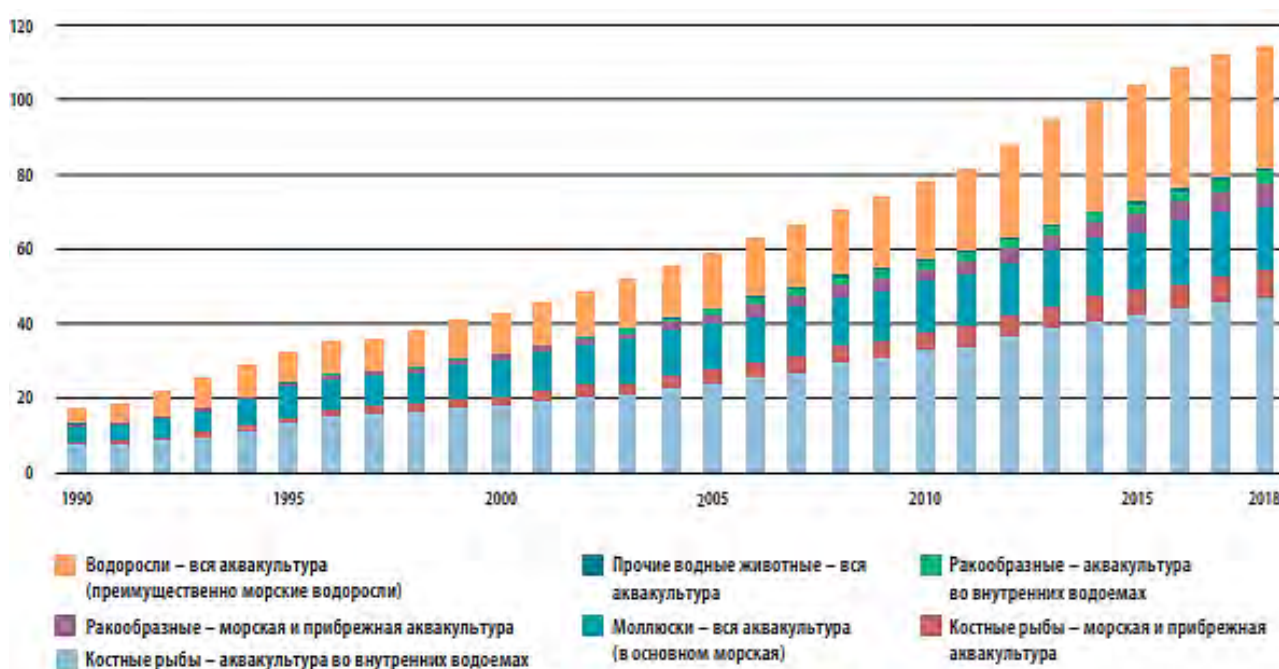


Рис. 1. Производство продукции аквакультуры в мире – водные животные и водоросли, 1990-2018 гг. (Состояние мирового ..., 2020). **Fig. 1.** Worldwide aquaculture production, i.e. of aquatic animals and algae, 1990-2018 (The state of worldwide ..., 2020).

1. Интенсивное рыбоводство, при котором морская акватория используется, как место для размещения садков с рыбой. При этом зачастую используется виды не местного происхождения, а нагул обеспечивается за счет искусственных кормов и ветеринарно-технологических процедур. В данных условиях все отходы от технологического процесса утилизируются за счет природной экосистемы.

2. Устойчивое рыбоводство – наиболее современное направление, при котором используется потенциал морской экосистемы для выращивания местных высокопродуктивных видов гидробионтов, составляющих естественную компоненту местных биоценозов. То есть это направление основывается на знаниях о функционировании морских экосистем, восстановлении и реализации биопродукционного потенциала. Природная экосистема не сталкивается с повышенными нагрузками по утилизации отходов культивирования, т.к. все выращиваемые гидробионты являются компонентами трофической цепи и включены в естественные потоки вещества и энергии, проходящие через сообщества (Масленников, Щукина, 2018). Примером такой деятельности выступает интегрированная мультитрофическая аквакультура, которая обеспечивает побочные

продукты, включая отходы, от одного культивируемого вида в качестве исходных материалов (удобрения, еда) для другого. Возможна комбинация гидробионтов по трофическим уровням в аквакультуре для создания сбалансированных систем с целью снижения рисков для природной среды.



Рис. 2. Объемы производства продукции товарной аквакультуры в Российской Федерации, тыс. т (Состояние мирового ..., 2020). **Fig. 2.** Production of commercial aquaculture in Russia, thousand tons (The state of worldwide ..., 2020).



Фото 1. Аквакультура мидии (*Mytilus galloprovincialis*), Кацивели, Крым, 2021 г. (фото Е.В. Чуприны). **Photo 1.** Aquaculture of mussel (*Mytilus galloprovincialis*), Katsiveli, Crimea, 2021 (photo by E.V. Chuprina).



Фото 2. Мидии *M. galloprovincialis*, Крым, 2021 г. (фото Е.В. Чуприны). **Photo 2.** Mussels (*M. galloprovincialis*) in Crimea, 2021 (photo by E.V. Chuprina).

При интенсивном рыбоводстве могут возникать следующие экологические угрозы окружающей среде:

- органическое загрязнение (эвтрофикация) – избыток питательных веществ из пищи и экскрементов гидробионтов, выращиваемых на фермах, которые, повышая уровень содержания органики в воде, образуют донные отложения, что крайне негативно отражается на морских экосистемах; эвтрофикация может вызвать изменения в морских популяциях и сообществах фитопланктона, а также значительную деградацию ключевых местообитаний, например, лугов морских трав;
- химическое загрязнение – на фермах используются противопаразитарные лекарственные препараты, средства для очистки от обрастаний, антибиотики, кормовые красители, которые могут иметь непредсказуемые последствия для морских организмов и здоровья человека;
- генетическое загрязнение – выращенные гидробионты могут конкурировать с дикими видами и скрещиваться с местными дикими стадами, ухудшая их генетическое разнообразие; при попадании искусственно выращенных гидробионтов в природную среду обитания могут быть вытеснены, а иногда и погибнуть целые группы таких же гидробионтов диких популяций, неспособные так же эффективно противостоять болезням, которые переносят их аквакультурные собратья; в то же время рыбы, появляющиеся в искусственной среде на протяжении нескольких поколений, приобретают генетические изменения, снижающие их способность выживать в естественной среде; при скрещивании эти мутации передаются новым поколениям диких рыб, негативно влияя на общий естественный генофонд;
- инфекционные болезни (вирусные, бактериальные) и паразиты, которые могут передаваться диким популяциям (Позиция Фонда ..., 2022).

Материалы и методы

Несмотря на то, что качество большинства прибрежных экосистем представляется подходящим для ведения аквакультуры, часть их подвержена воздействию природных явлений или антропогенных изменений. На них влияют как глобальные процессы гидродинамики, так и различные формы сухопутной и морской антропогенной деятельности местного значения. Даже при исключительной разбавляющей способности океанической циркуляции качество прибрежных вод, где осуществляется большая часть морской аквакультуры, в некоторых незащищенных прибрежных зонах зависит от поверхностного стока с континентальных водосборных площадей, а также от других форм морской деятельности человека (навигации, сброса отходов, добычи полезных ископаемых, в т.ч. нефти, промысловой и аквакультурной эксплуатации, урбанизации и туризма). Для определения возможного расположения фермы в той или иной акватории необходимо провести ряд исследований. На сегодняшний день в России необходимым и достаточным комплексом таких исследований является рыбоводно-биологическое обоснование (далее – РБО). Рыбоводно-биологическое обоснование – это комплекс мероприятий, которые дают возможность получить данные о состоянии водного объекта (его участка) и его ихтиофауны и на основании анализа собранной информации дать рекомендации по ведению хозяйственной деятельности. Главная цель РБО – дать полную гидрохимическую, гидрологическую характеристику, выяснить оптимальную возможность использования водного объекта (его участка), показать хозяйственную и биологическую необходимость реализации рыбохозяйственных мероприятий и обеспечить полную безопасность для экосистемы. После проведения РБО заказчик (ферма, аквакультурное хозяйство) должен

получить документ, определяющий характер и процедуру рыбоводной деятельности предприятия в условиях конкретного водного объекта, а также режим эксплуатации водоема или участка водоема с учетом экологической безопасности производства.

РБО включает в себя решение следующих задач:

- оценка пригодности водного объекта для ведения на нем рыбоводной деятельности;
- определение биопродукционного потенциала акватории;
- нахождение свободных экологических ниш;
- подбор состава поликультуры рыб (при необходимости);
- подбор рыбохозяйственной системы эксплуатации объекта;
- оценка целесообразности включения конкретного водоема в состав полифункционального хозяйства (Рыбоводно-биологическое ..., 2022).

По результатам РБО формируются рекомендации по мониторингу необходимых показателей в период эксплуатации фермы. Однако основное внимание мониторинга уделяется товарному виду рыбы, пригодности водоема или его части для использования в рыбохозяйственных целях, при этом воздействие хозяйства на экологическое состояние водоема в большинстве случаев контролируется недостаточно. Так, например, в данном комплексе мероприятий недостаточно внимания уделяется мониторингу состояния донных отложений, которые могут накапливать в себе загрязнения от деятельности аквакультурного хозяйства. По данным Росрыболовства, 45% видового состава аквакультуры РФ приходится на мидийные и устричные фермы или коллекторную аквакультуру. При этом, согласно данным Всероссийскому научно-исследовательскому институту рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), в прейскуранте цен (Прейскурант базовых цен ..., 2021) на оказание услуг по выполнению научно-исследовательской работы (НИР) по разработке РБО не представлены такие виды гидробионтов, как моллюски, т.е. мидии и устрицы (Рыбоводно-биологическое ..., 2022). В этой связи полезно рассмотреть и учесть в дальнейшем международный опыт мониторинга и сертификации марикультуры по этим видам.

В РФ существуют государственные нормативные требования сертификации и декларирования для продукции аквакультуры, но нет государственного мониторинга или сертификации ведения аквакультурного хозяйства. Экологическая и социальная ответственность при искусственном разведении гидробионтов становится все более важным требованием современного рынка. Поднимать уровень хозяйствования в аквакультуре необходимо путем внедрения стандартов процессов товарного выращивания, менеджмента, контроля качества, внедрения лучших практик, таких как проведение сертификации по примеру Попечительского совета аквакультуры (Aquaculture Stewardship Council).

В данной статье рассмотрен опыт международной экологической сертификации по стандарту Aquaculture Stewardship Council (ASC), а также по Норвежскому стандарту оценки влияния марикультуры выращивания лососей на водную среду (Modelling – Ongrowing Fish Farms – Monitoring, MOM).

ASC был основан в 2010 году Всемирным фондом дикой природы (WWF) и Голландской инициативой по устойчивой торговле (Sustainable Trade Initiative, IDH) и с тех пор ведет свою работу в области разработки наиболее экологически-приемлемых механизмов экологически устойчивого существования аквакультурных хозяйств. Согласно его принципам, «аквакультура играет важную роль в обеспечении человечества продуктами питания и социальными благами, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду». Миссия ASC – «преобразовать аквакультуру в направлении экологической устойчивости и социальной ответственности с использованием эффективных рыночных механизмов, которые влияют на стоимость по всей цепочке». ASC является примером управления с участием многих заинтересованных сторон и полноправным членом ISEAL Alliance, устанавливающего стандарты устойчивого развития. Стандарты ASC стали

результатом диалогов по аквакультуре, инициированных Фондом дикой природы и проводившихся в течение десяти лет. В них приняли участие около 2000 ученых, НПО, представителей отрасли и других заинтересованных сторон (фермеров, переработчиков, розничных торговцев и государственных учреждений).

В связи с активным развитием рыбоводства в Европе возникла необходимость в разработке стандарта для оценки влияния марикультуры на водную среду. На основе критериев качества прибрежных вод в 1997 г. в Норвегии был подготовлен национальный стандарт для мониторинга рыбных ферм, базирующийся на системе MOM. Итогом разработок норвежских исследователей стала серия моделей, руководящих принципов, процессов мониторинга и стандартов качества окружающей среды, ориентированных на выращивание лососей в холодноводных условиях (Hansen et al., 2001).

В рамках программы мониторинга MOM изучается воздействие органических отходов морских рыбоводческих хозяйств. Она состоит из трех типов исследования возрастающей сложности и точности: *А-исследование*, *В-исследование* и *С-исследование*. Все три этапа должны производиться с частотой, пропорциональной степени воздействия садков на окружающую среду.

А-исследование – простое измерение скорости осаждения корма и продуктов метаболизма под садками, которое позволяет получить оперативную информацию о нагрузке под сетками. Скорость оседания зависит от количества органических твердых отходов, а также от течений и глубины и может значительно варьировать в зависимости от стратегии кормления.

Скорость осаждения измеряется путем развешивания двух седиментационных ловушек на высоте 2 м над дном на периферии садков, в которых содержится наибольшее количество рыбы и поступает наибольшее количество корма. Система MOM предполагает, что *А-исследование* производится самим рыбоводом.

В-исследование – исследование донных отложений, мониторинг тенденций их состояния. В этот этап входит мониторинг трех групп параметров: макробентос, гидрохимические показатели и органолептические параметры. По результатам измерений каждой группы на станциях дается бальная оценка, которая затем усредняется и ей присуждается одна из четырех категорий, характеризующих степень влияния садкового хозяйства на водоем. Чем выше категория, тем значительнее воздействие фермы.

С-исследование – комплексное исследование структуры сообщества донной макрофауны. Мониторинг экологического состояния необходим для любых водоемов, учитывая особенности батиметрии водообмена и гидрохимического режима. Это исследование представляет собой изучение структуры сообщества бентоса водлазным методом (Hansen et al, 2001).

Результаты и обсуждение

В соответствии с концепцией ASC, сфера применения Стандарта сертификации ASC охватывает ключевые негативные экологические и социальные последствия, связанные с отраслью аквакультуры. ASC является независимой некоммерческой и маркировочной организацией, проводящей сертификацию по выращиванию морепродуктов при обеспечении устойчивой в экологическом плане аквакультуры. В настоящее время сертификация по стандартам ASC проводится для 17 биологических групп видов гидробионтов аквакультуры: морское ушко (сем. *Halitidae*¹), двустворчатые моллюски (моллюски, мидии (сем. *Mytilus*)),

¹ Латинские названия семейств приводятся по работам: «Морская аквакультура» (Моисеев и др., 1985), «Пятиязычный словарь названий животных. Рыбы» (Решетников и др., 1989), «Состояние мирового рыболовства и аквакультуры ...» (2022).

устрицы (сем. *Crassostrea*), гребешки (сем. *Pectinidae*), камбала (сем. *Pleuronectidae*), пресноводная форель, лосось (сем. *Salmonidae*), пангасиус (сем. *Pangasius*), морской окунь (сем. *Scorpaenidae*), горбыль (сем. *Sciaenidae*), лакедра (сериола; сем. *Oligoplites*), кобия (сем. *Rachycentron*), креветки (сем. *Caridea*), тилапия (сем. *Tilapia*). Также существует совместный стандарт для морских водорослей. Сертификация по стандарту ASC принята во многих странах, таких как Австрия, Бельгия, Канада, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Италия, Венгрия, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария и Великобритания.

Основной смысл сертификации аквакультуры по стандарту ASC заключается в том, что всем участникам отрасли гарантируется, что сертифицированная организация строго придерживается практик, минимизирующих воздействие на окружающую среду, и использует лучшие социально-ответственные методы устойчивого производства морепродуктов.

Стандарты ASC охватывают следующие принципы:

1. соответствие предприятия нормативно-правовой базе государства (региона), в котором осуществляется деятельность;
2. сохранение естественной среды обитания и разнообразия видов;
3. сохранение водных ресурсов и минимизация воздействия;
4. сохранение разнообразия видов и диких популяций рыб (например, предотвращение утечек, потенциально опасных для дикой рыбы);
5. ответственное использование кормов и других ресурсов;
6. здоровье животных (исключая неоправданное использование антибиотиков и химических веществ);
7. социальная ответственность (например, предотвращение использования детского труда, охрана здоровья и труда работников, свобода собраний, общественные отношения).

ASC предоставляет производителям аквакультуры строгую схему сертификации производства и продукции, гарантирующую потребителям и государству, на территории которого ведется деятельность, что морепродукты являются безопасными продуктами питания, выращиваются в экологически и социально положительных условиях (ASC, 2022).

Сертификация хозяйства аквакультуры, если разнообразие выращиваемых видов входит в перечень объектов сертификации ASC, проводится в несколько этапов следующим образом.

1. Первый этап сертификации – Нормативно-правовой.

Принцип: необходимое соответствие закону и соблюдение всех применимых правовых и юридических требований и нормативных актов в соответствии с регионом, где расположено фермерское аквакультурное хозяйство.

Согласно п. 1, необходимо соответствие предприятия нормативно-правовой базе государства (региона), в котором осуществляется деятельность. Происходит сбор документов на подтверждение соответствия всем применимым правовым требованиям и правилам, в которых осуществляется сельскохозяйственная деятельность (например, разрешения, лицензии, свидетельства об аренде и правах на землю и/или водопользование).

Проводится проверка предприятия по нескольким критериям:

- Сбор копий документов, подтверждающих право использования участка берега или акватории, занимаемого фермой для советующей хозяйственной деятельности. Использование земли не должно противоречить законам о землепользовании и водопользовании страны, в которой находится сертифицируемый объект;
- Сбор документов на право аренды и собственности;
- Анализ на предмет соблюдения национальных и местных законов и правил (только в том случае, если такие проверки по закону требуются в стране эксплуатации);

- Запрашивается подробная карта фермы с не менее чем 4 координатами GPS для определения местоположение фермы относительно национальных заповедных зон;
- Если ферма расположена в пределах национальной заповедной зоны или охраняемой морской зоны, запрашиваются документы, подтверждающие, что деятельность фермы соответствует требованиям законодательства и правилам охраняемой территории;
- Если участок фермы не относится к зоне активного осадконакопления, осуществляется проверка, что мониторинг с помощью видео или изображений морского дна проводился не позднее, чем за 5 лет до аудита.

2. Второй этап сертификации – Экологический.

Принцип: сохранение естественной среды обитания, местного биоразнообразия, структуры и функций экосистем. Сертифицируемое хозяйство должно избегать, устранять или смягчать любое неблагоприятное воздействие на среду обитания, биоразнообразие и экологические процессы. В частности, рассматриваются и анализируются ключевые области воздействия на донные отложения и бентос, качество воды, взаимодействия с критическими или чувствительными средами обитания и видами дикой природы.

Одной из основных экологических угроз, связанных с аквакультурой, является интенсивность производства и ее влияние на экологические сообщества, которые находятся в непосредственной близости от сельскохозяйственных работ. Поскольку гидробионты для нужд аквакультуры выращиваются в динамичных условиях водной среды, воздействие сельского хозяйства на экосистему трудно измерить таким образом, чтобы его можно было последовательно применять от фермы к ферме. Для решения этой проблемы ASC разработал многоуровневый подход, основанный на первоначальной оценке рисков с последующим повышением уровня мониторинга в зависимости от конкретных условий местообитания. Кроме того, для проверки экологической устойчивости существующие требования должны также учитывать совокупное воздействие нескольких ферм, находящихся в одной местности (в одном участке водоема – заливе, бухте или в одном водоеме).

Для сохранения естественной среды обитания анализируются следующие показатели.

2.1. Проводится исследование донных отложений, мониторинг тенденций их состояния. Сертифицированные ASC фермы обязаны отслеживать изменения в донных отложениях под фермами в сравнении с фоновыми (зона в данной географической области вне воздействия фермы) путем отслеживания уровня сульфидов в отложениях через регулярные промежутки времени, а затем подтверждать, что их уровень остается в установленных пределах.

Допустимые концентрации общего количества «свободных» сульфидов в донных отложениях (0-2 см от поверхности дна) по сравнению с контрольными участками: например, анализ проводится согласно следующим требованиям: при ≤ 1500 мкм требуется мониторинг каждые 5 лет, при ≥ 1500 мкм и ≤ 3000 мкм – ежегодный мониторинг, при ≥ 3000 мкм ферма не подлежит сертификации. Информация должна быть предоставлена с подробным описанием используемой схемы отбора проб и результатов оценки отложений. В случаях, когда естественный фоновый уровень сульфидов превышает 3000 мкм, ежегодные концентрации не должны значительно превышать уровни, измеренные на контрольных участках, расположенных за пределами фермы в исследуемой географической зоне.

2.2. Проводится анализ механического загрязнения донных отложений под фермой и рядом с ней и измерение скорости осаждения корма и продуктов метаболизма под фермами. Если концентрации донных осадков под сельскохозяйственными аквакультурными сооружениями не выше ($p < 0.05$) контрольных участков, тогда мониторинг должен проводиться каждый год.

2.3. Проводится комплексное исследование структуры сообществ донной макрофауны и оценка фаунистического индекса бентосных сообществ, указывающая на хорошее, среднее

или высокое экологическое качество отложений за пределами ферм. Оценивается также количество таксонов макрофауны в отложениях в пределах акватории и дна под фермой.

Это исследование изучает структуру сообщества бентоса водолазным методом вдоль трансекты (отмеренная на территории экосистемы узкая прямоугольная полоса для изучения размещения видов, численности, проективного покрытия, продуктивности и др.), проходящей от рыбоводческого хозяйства к районам осадконакопления, т.е. происходит анализ распределения организмов по градиенту предполагаемого загрязнения. Бентосная фауна чувствительна к органической нагрузке. Исследование структуры бентических сообществ широко использовалось для оценки воздействия органических поступлений с рыбных ферм. Под садками вдоль трансект производится отбор проб представителей бентосных сообществ. Затем квалифицированный гидробиолог определяет видовой состав организмов в пробах. По результатам рассчитываются индексы биологического разнообразия донных сообществ. Используются индексы видового разнообразия Шеннона и Хульберта (Shannon, Weaver, 1949).

2.4. Проводится анализ качества воды в акватории фермы и в зоне ее влияния:

- Исследуются такие показатели, как количество растворенного кислорода в воде, рН, БПК, содержания N, NH₄, NO₃, общее содержание P и фосфорных соединений, привнос взвешенного органического вещества с кормами фермы, общее количество взвешенных твердых веществ и прочие показатели, советуемые национальным или региональным целевым показателям качества прибрежных вод. Для ферм, не имеющих национальных или региональных целевых показателей качества прибрежных вод, проводится мониторинг уровней азота и фосфора в сравнении с эталонными участками. Например, лососевым видам для устойчивого существования в идеале необходим уровень растворенного кислорода более 5 мг/л, хотя они способны жить при более низких концентрациях кислорода, но короткий период времени;

- Анализируется отношение скорости очистки к скорости водообмена исследуемой акватории водного объекта. Рассчитывается площадь влияния фермы на окружающую среду. Ферма должна советовать следующему требованию – общая площадь всех подобных аквакультурных хозяйств в акватории должна составлять менее 10% от общей площади акватории водного объекта, в котором ведется деятельность. Для этого запрашивается карта, на которой показан водоем и все места расположения ферм (включая единицу сертификации). Рассчитывается процент площади водного объекта, занимаемой фермами.

2.5. Рассматриваются основные гидробиологические показатели водной среды:

- Рассчитывается среднегодовая биомасса фитопланктона и первичная продукция для всего водного объекта. Запрашивается вся информация об используемых методах отбора проб, а также о местоположении и времени каждого образца;

- Проводится мониторинг сопутствующих видов, находящихся под угрозой исчезновения или внесенных в Красную книгу, определенных национальным законодательством или Международным союзом охраны природы (International Union for Conservation of Nature). Проверяется воздействие от хозяйственной деятельности фермы на среду их обитания, для чего предоставляется карта (ГИС-файлы), показывающая границы фермы относительно известных ареалов распространения исчезающих видов или критических мест обитания в этом районе. Если в районе фермы выявлен вид, находящийся под угрозой исчезновения, или краснокнижные виды, проводится разработка и утверждение конкретных мер и действий, которые предпринимает ферма для минимизации своего воздействия. Не допускается существование фермы в любых зонах высокой природоохранной ценности, особо охраняемых природных объектов, заповедников, заказников и т.п.;

- На основании данных 10-летнего периода до момента сертификации подтверждается, что культивируемый вид не является интродуцентом, вредителем или патогеном для акватории, в которой он культивируется.

2.6. Проводится анализ деятельности фермы на предмет соответствия региональным и государственным экологическим нормам и программам:

- Предоставляется документация, которая подтверждает, что купленные или собранные дикорастущие мальки или молодь культивируемых гидробионтов не собраны из нерегулируемого источника с открытым доступом, а имеют сертификацию по принятым в этой связи стандартам;

- Сертифицированные ASC фермы должны соблюдать строгие требования для минимизации вспышек заболеваний. Им не разрешается использовать вредные пестициды. Если используются химические вещества, то допускаются только те, которые не наносят вреда морской среде и диким видам в их естественной среде обитания. Фермы также должны обеспечивать действия по профилактике заболеваний и не наносить вред видам, находящимся под угрозой исчезновения;

- Проверяется наличие методической документации о ведении деятельности на анализируемой ферме с учетом использования передовых методов управления для предотвращения и борьбы с возможными болезнями и вредителями (паразитами) выращиваемых видов гидробионтов, а также для предотвращения их попадания с молодь при заселении фермы и/или при установке оборудования. Также документация должна включать список возможных заболеваний и паразитов для культивируемого вида, в т.ч. контроль медицинской отчетности о смертности внутри выращиваемой популяции, а также о принятых на конкретной ферме мерах дезинфекции оборудования перед погружением в водный объект;

- Для заселяемой на сертифицируемой ферме молоди культивируемого вида, выращенной на искусственных инкубационных установках, проверяются все предпринятые меры для решения генетических проблем, специфичных для данных конкретных видов и географического региона, в котором данная молодь будет высажена;

- Предоставляется техническая информация обо всех химических веществах, используемых на ферме (мутагенные, канцерогенные или тератогенные пестициды, химические вещества, которые сохраняются в виде токсинов в морской среде на ферме или на сельскохозяйственных животных) и подтверждение об отсутствии биоаккумуляции используемых химических веществ на ферме;

- Предоставляется список всех средств борьбы с хищниками и вредителями, в т.ч. биологических. Сопутствующие виды, используемые в целях борьбы с вредителями выращиваемых видов, также должны быть местными видами для дикой среды, в которой расположена ферма. Интродуценты исключаются;

- Предоставляется анализ краснокнижных видов и рекомендации по их сохранению в рамках возможных последствий от хозяйственной деятельности;

- Подтверждается максимальное сокращение отходов в производстве с описанием технологической схемы (например, разделение отходов производства, повторное использование и переработка), участие в соответствующих государственных местных программах. В данной связи предоставляется описание наиболее распространенных производственных отходов с указанием того, какие из них перерабатываются;

- Предоставляется описание схемы утилизации биологических отходов производства, а также план, в котором подробно описано, как ферма обеспечивает надлежащую утилизацию всех отходов, включая отделение и сегрегацию биологических отходов от небологических;

- Предоставляется описание системы надлежащего хранения и/или удаления химических отходов производства, если таковые имеются;
- Предоставляется план мероприятий, направленных на предотвращения аварийных разливов химических отходов, образующихся в результате сельскохозяйственной деятельности. В плане должно быть указано профилактическое техническое обслуживание существующего и действующего оборудования для предотвращения разливов топлива из транспортных средств, лебедок, кранов и механического оборудования на суше и воде;
- Шум, свет и запах, исходящие с фермы, должны быть сведены к минимуму в районах, где они могут оказывать негативное воздействие;
- Предоставляются документальные подтверждения очистки береговой линии или пляжей от потерянных частей оборудования (буи, канаты, части сетки, строительный материал и пр.) в зависимости от местных гидрологических условий. При этом ранее все основное оборудование фермы должно быть маркировано и идентифицировано как принадлежащее ферме. Как минимум маркированное снаряжение должно включать поплавки, буи, клетки, канаты, сети для хищников и стойки.

3. Этап сертификации – Социальный.

- Подтверждение того, что на ферме существует политика в области разрешения конфликтов, возникших в результате нарушения интересов между фермой и прилегающими хозяйствами или поселениями. Предоставление фермой контактной информации для обращения по конфликтным вопросам, жалобам и предложениям;
- Осуществляется проверка фермы на предмет того, что ее хозяйственная деятельность не нарушает прав коренных народов, если таковые имеются в зоне интересов фермы;
- Подтверждение того, что на ферме исключен детский труд, а минимальный возраст постоянных работников составляет 15 лет или выше (в соответствии с национальным законодательством). Подтверждение существования системы мониторинга рабочего времени и условий труда, в частности, того, что молодые работники в возрасте от 15 до 18 лет не имеют конфликтов между работой и учебой; не тратят более 10 часов в день на транспорт, учебу и работу; не выполняют опасную работу. Подтверждение того, что исключена дискриминация работников по любому признаку;
- Подтверждение того, что обучение в области охраны труда и техники безопасности доступно для всех сотрудников без исключения, а также того, что деятельность руководства фермы направлена на минимизацию опасностей/рисков в рабочей среде, включая общедоступную для всех сотрудников документацию, техническое руководство и политику по предотвращению опасных ситуаций на рабочем месте и связанных с ними рисков.

По окончании прохождения процедуры сертификации на продукцию конкретной сертифицируемой фермы присваивается маркировка ASC, что гарантирует покупателям высококачественные и безопасные продукты питания, а также подтверждает, что ферма, на которой выращена данная продукция, выполняет все действия для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и использует лучшие социально-ответственные методы устойчивого производства морепродуктов. При этом все аудиторские отчеты по всем сертифицированным ASC фермам доступны для общественности через веб-сайт ASC (2022).

Выводы

В условиях роста объема производства продукции аквакультуры в России очевидным шагом становится необходимость проведения работ по оптимизации имеющихся и разработкам новых технологий и законодательных мер, позволяющих сократить и регламентировать воздействие аквакультурных хозяйств на окружающую среду.

Развитие устойчивой аквакультуры, основанное на знаниях о функционировании морских экосистем, может стать фундаментом для создания устойчивого с геоэкологической точки зрения использования водных ресурсов. Временные органы планирования, слабо развитые методы планирования, мониторинга и контроля, отсутствующее или фрагментированное национальное законодательство на макро- и микроуровнях ставят под угрозу перспективы эффективного управления аквакультурой с целью реализации устойчивого подхода в управлении водными ресурсами. Эффективное использование морских природных ресурсов сегодня становится затруднительным.

Международная система сертификации производства аквакультуры ASC существует с 2010 г. и на сегодняшний день является ведущей в мире сертификационной программой по аквакультуре. Маркировка ASC на продуктах аквакультуры подтверждает, что хозяйство следует экологическому принципу разведения рыбы и морепродуктов. Основное внимание уделяется сохранению среды обитания. ASC отслеживает морепродукты от фермы до прилавка, что дает возможность покупателям быть уверенными в том, что продукция является качественной и экологически чистой.

Знакомство с международным опытом в сфере мониторинга и сертификации устойчивой аквакультуры является актуальным и необходимым для дальнейшего развития отрасли. В настоящее время (на начало 2023 г.) в РФ не существует национальной системы экологической сертификации рыбной продукции и хозяйств аквакультуры. В принятой «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» (2019) констатируется отсутствие экологических стандартов в области рыбоводства, а также подтверждается, что данный факт влияет на конкурентоспособность российского рыбохозяйственного комплекса. Одним из инструментов повышения конкурентоспособности может стать разработка и внедрение национальной системы экологической сертификации рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов и продукции аквакультуры.

Отсутствие национальной системы мониторинга и сертификации хозяйственной деятельности аквакультуры в России приводит к нанесению непоправимого экологического ущерба окружающей среде. Проведенный в данной работе всесторонний анализ международного опыта сертификации аквакультуры, является актуальным и может стать необходимой основой, для дальнейшей разработки национального российского стандарта сертификации аквакультурных хозяйств.

Финансирование. Работа выполнена по теме Государственного задания Института водных проблем РАН № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Вейдеман Е.Л., Черкашин С.А., Щеглов В.В. 2001. Диагностика состояния прибрежных акваторий: Некоторые проблемы и результаты // Известия Тихоокеанского НИРЦ. Т. 128. С. 1036-1048. 2. Масленников С.И., Щукина Г.Ф. 2018. Взаимодействие плантаций | <ol style="list-style-type: none"> 1. Veideman EL, Cherkashin SA, Shcheglov VV. Diagnostics of the state of coastal waters: Some problems and results [Diagnostika sostoyaniya pribrezhnykh akvatoriy: Nekotoryye problemy i rezultaty] <i>News of the Pacific research fishery center [Izvestiya Tikhookeanskogo NIRTS]</i>. 2001;128:1036-1048. 2. Maslennikov SI, Shchukina GF. Interaction of |
|--|---|

- марикультуры и морских прибрежных экосистем // Рыбное хозяйство. № 4. С. 96-99.
3. Моисеев П.А., Карпевич А.Ф., Романцева О.Д., Блинова Е.В., Сальников Н.Е. 1985. Морская аквакультура / Ред. П.А. Моисеев. М.: Агропромиздат. 255 с.
 4. Позиция Фонда дикой природы (WWF) России по вопросу аквакультуры. 2022. [Электронный ресурс wwf.ru/about/positions/kollektornaya-akvakultura-marikultura (дата обращения 15.01.2022)].
 5. Прейскурант базовых цен на оказание услуг, выполнение работ по приносящей доход деятельности ФГБНУ «ВНИРО», Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»). 2021 [Электронный ресурс <http://www.vniro.ru/ru/prejskurant> (дата обращения 15.01.2021)].
 6. Решетников Ю.С., Котляр А.Н., Расс Т.С., Шатуновский М.И. 1989. Пятиязычный словарь названий животных. Рыбы. Латинский, русский, английский, немецкий, французский / Ред. В.Е. Соколов. М.: Русский язык. 259 с.
 7. Рыбоводно-биологическое обоснование. Проведение исследований и выдача заключений, методическое руководство ВНИРО. 2022 [Электронный ресурс <https://vniro.ru> (дата обращения 20.01.2022)].
 8. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. 2020. Доклад ФАО. Меры по повышению устойчивости. Рим: ФАО. 221 с. [Электронный ресурс <https://www.fao.org/3/ca9229ru/ca9229ru.pdf> (дата обращения 20.01.2022)].
 9. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. 2022. На пути к «голубой» трансформации. Рим: ФАО. 266 с. [Электронный ресурс: <https://doi.org/10.4060/cc0461ru>
 - mariculture plantations and marine coastal ecosystems [Vzaimodeystviye plantatsiy marikul'tury i morskikh pribrezhnykh ekosistem] Fisheries [Rybnoye khozyaystvo]. 2018;4:96-99.
 3. Moiseev PA, Karpevich AF, Romantseva OD, Blinova EV, Salnikov NE. Marine aquaculture [Morskaya akvakul'tura] / ed. P.A. Moiseev. Moscow: Agropromizdat:255.
 4. Position of the Wildlife Fund (WWF) of Russia on the issue of aquaculture [Pozitsiya Fonda dikoy prirody (WWF) Rossii po voprosu akvakul'tury]. 2022, Available at wwf.ru/about/positions/kollektornaya-akvakultura-marikultura (Date of Access 15/01/2022).
 5. Price list of basic prices for the provision of services, performance of work on income-generating activities of the FGBNU "VNIRO", the Freshwater Fisheries Branch of the FGBNU "VNIRO" (VNIIPRKh) [Preyskurant bazovykh tsen na okazaniye uslug, vypolneniye rabot po prinosyashchey dokhod deyatel'nosti FGBNU «VNIRO», Filiala po presnovodnomu rybnomu khozyaystvu FGBNU «VNIRO» («VNIIPRKH»)]. 2021, Available at <http://www.vniro.ru/ru/prejskurant> (Date of Access 15/01/2021).
 6. Reshetnikov YuS, Kotlyar AN, Russ TS, Shatunovsky MI. Five-language dictionary of animal names [Pyatiyazychnyy slovar' nazvaniy zhivotnykh] Fish. Latin, Russian, English, German, French [Ryby. Latinskiy, russkiy, angliyskiy, nemetskiy, frantsuzskiy] / ed. V.E. Sokolov. Moscow: Russkiy yazyk, 1989:259.
 7. Fish breeding and biological justification [Rybovodno-biologicheskoye obosnovaniye]. Conducting research and issuing conclusions, methodological guidance VNIRO [Provedeniye issledovaniy i vydacha zaklyucheniy, metodicheskoye rukovodstvo VNIRO]. 2022, Available at <https://vniro.ru> (Date of Access 20/01/2022).
 8. The state of worldwide fisheries and aquaculture [Sostoyaniye mirovogo rybolovstva i akvakul'tury] FAO report [Doklad FAO] Measures to improve resilience [Mery po povysheniyu ustoychivosti]. Rome: FAO, 2020:221, Available at <https://www.fao.org/3/ca9229ru/ca9229ru.pdf> (Date of Access 20/01/2022).
 9. The state of worldwide fishery and aquaculture

- (дата обращения 20.02.2021)].
10. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. 2019. Распоряжение № 2798-р от 26.11.19. 50 с. [Электронный ресурс <http://static.government.ru/media/files/hgCKyG0XzZeAiRsLTtMgVIJh5vQLsMpg.pdf> (дата обращения 20.01.2022)].
 11. Техническое руководство по сертификации продукции аквакультуры. 2011. Версия, одобренная на 29-й сессии Комитета по рыбному хозяйству (КРХ). Рим. 38 с. [Электронный ресурс <https://www.fao.org/3/ar133r/ar133r.pdf> (дата обращения 20.01.2022)].
 12. ASC. 2022. Aquaculture Stewardship Council [Электронный ресурс: <https://www.asc-aqua.org/> (дата обращения 20.02.2021)].
 13. Hansen P.K., Ervik A., Schaanning M., Johannessen P., Aure J., Jahnsen T., Stigebrandt A. 2001. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring) // *Aquaculture*. Vol. 194. No. 1-2. P. 75-92.
 14. Shannon C.E., Weaver W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press. P. 125.
 - [*Sostoyaniye mirovogo rybolovstva i akvakul'tury*] *Towards a Blue Transformation [Na puti k "goluboy" transformatsii]*. Rome: FAO, 2022:266, Available at <https://doi.org/10.4060/cc0461ru> (Date of Access 20/02/2021).
 10. Strategy for the development of the fishery complex of the Russian Federation for the period up to 2030 [*Strategiya razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda*]. Order No. 2798-r, issued on 26/11/19. 2019:50, Available at <http://static.government.ru/media/files/hgCKyG0XzZeAiRsLTtMgVIJh5vQLsMpg.pdf> (Date of Access 20/01/2022).
 11. Technical guidance for the certification of aquaculture products [*Tekhnicheskoye rukovodstvo po sertifikatsii produktsii akvakul'tury*] *Version approved by the 29th session of the Committee on Fisheries (CoFI) [Versiya, odobrennaya na 29-y sessii Komiteta po rybnomu khozyaystvu (KRKH)]*. Rome, 2011:38, Available at <https://www.fao.org/3/ar133r/ar133r.pdf> (Date of Access 20/01/2022).
 12. ASC. Aquaculture Stewardship Council. 2022, Available at <https://www.asc-aqua.org/> (Date of Access 20/02/2021).
 13. Hansen PK, Ervik A, Schaanning M, Johannessen P, Aure J, Jahnsen T, Stigebrandt A. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring program of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring). *Aquaculture*. 2001;194 (1-2):75-92.
 14. Shannon CE, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press. 1949:125.

UDC 574, 574.5, 574.52

**INTERNATIONAL CERTIFICATION EXPERIENCE
IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AQUATIC CULTURE**

© 2023. E.V. Chuprina

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Science
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str. 3. E-mail: k_korda@mail.ru*

Received March 2, 2023. Revised April 30, 2023. Accepted May 5, 2023.

Recent trends in the development of aquatic culture suggest that marine aquaculture is one of the foundations of the fishery in Russia. Here, the scale of fish production and trade is increasing. Like any other human activity that takes place in natural waters, industrial aquaculture has an impact on the surrounding environment, especially coastal waters. Possible certification of aquaculture is an effective tool to minimize any negative effects on the environment, as well as increase the trust of potential consumers. In the future, the existence of spontaneous aquaculture without any environmental certification of production may seriously limit the development of this industry in Russia. In this regard, the analysis of international experience in the field of aquaculture farms certification of Aquaculture Stewardship Council is relevant for Russia as well and can help with updating and developing the existing regulatory framework.

Keywords: aquaculture, aquaculture certification, monitoring.

Funding. This work was carried out as part of the state task No. FMWZ-2022-0002 for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Science “ Study of Geoecological Processes in Hydrological Systems of Land, Formation of the Quality of Surface and Ground Waters and Issues of Water Resources Management and Use under the Climate Change and Anthropogenic Impacts”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-73-87

EDN: HOBXMW

РАННИЕ СТАДИИ ПИРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ (БАЙКАЛЬСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

© 2023 г. Н.С. Гамова*, **, Е.А. Фаронова*, Ю.Н. Коротков**, Т.С. Кошовский*, Т.Е. Язрикова*

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: bg_natagamova@mail.ru*

***Байкальский государственный природный биосферный заповедник
Россия, 671220, Республика Бурятия, Кабанский р-н, п. Танхой, ул. Красногвардейская, д. 34*

Поступила в редакцию 03.04.2023. После доработки 31.05.2023. Принята к публикации 01.06.2023.

В статье проанализированы ранние стадии восстановительной пирогенной сукцессии на гари в пихтовом с кедром лесу. Участок исследования типичен для среднегорья северного макросклона Хамар-Дабана; пожар имеет естественное природное происхождение. Отмечены пирогенные изменения во флористическом составе, а также в структуре лесного фитоценоза. Зафиксировано упрощение ярусности, уменьшение общего числа видов и разнообразия эколого-ценотических групп растений на участке гари в первые годы после прохождения пожара. Проведено сравнение послепожарного растительного сообщества с ненарушенным лесом. Оценено участие редких и охраняемых видов растений на гари.

Установлено, что лесные пожары в пихтовых лесах приводят к полной гибели древостоев и запускают восстановительную пирогенную сукцессию, которая в данных условиях проходит со сменой пород на вторичные мелколиственные. В первые годы после пожара коэффициент сходства флористического состава фитоценоза гари и ненарушенного леса не превышает 0.5; также меняется спектр эколого-ценотических групп, во все годы доминирует группа Вг (таежное мелкотравье). При этом на гари встречаются виды растений, не отмеченные в коренном лесу, а обилие отдельных редких видов увеличивается. Структура растительного сообщества гари упрощается: уменьшается число ярусов и их сомкнутость / проективное покрытие. В течение 5 лет после пожара травяно-кустарничковый ярус восстанавливает общее проективное покрытие, характерное для фонового ненарушенного леса; кустарники резко увеличивают сомкнутость за счет малины, а древесный ярус в виде подроста и моховой ярус лишь начинают свое восстановление.

Однократное пожарное нарушение темнохвойного леса при относительно небольшой площади гари не вызывает необратимой деградации фитоценоза. Таежные экосистемы сохраняют потенциал восстановления, достаточный для успешного прохождения сукцессии.

Ключевые слова: Хамар-Дабан, лесные пожары, пихтовые леса, пирогенные сукцессии лесной растительности, редкие виды, эколого-ценотические группы видов.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-88-112

EDN: GTFDBJ

Лесные пожары – важнейший лесообразующий фактор, поскольку они являются основной причиной природных сукцессионных процессов в таежных экосистемах (Исаков и др., 1986; Волокитина, Софронов, 2011). Вследствие лесных пожаров существенно преобразуются растительность и почвенный покров. Также на участках склонов, пройденных пожаром, обнажается поверхность почвы и субстрата, вследствие чего может существенно усилиться эрозия (Горшков, 1982). По своему возникновению пожары могут быть как природными, так и антропогенными, причем их частота и распространенность в последние годы возрастают ввиду косвенного воздействия человека (Chuvieco et al., 2008; Pausas, Keeley, 2009; Girardin et al., 2010).

Байкальский заповедник находится в Южном Прибайкалье и занимает центральную часть горного хребта Хамар-Дабан. Большая часть его площади относится к малонарушенным лесным территориям (Аксенов и др., 2003; Potapov et al., 2021). Также эта территория входит в центральную экологическую зону озера Байкал в составе объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Озеро Байкал» (UNESCO ..., 2022). Лесные пожары имеют здесь естественное происхождение, что также отмечается и в других горных регионах юга Сибири (Валендик, Иванова, 2001; Иванов, Иванова, 2010). Большая часть пожаров в заповеднике происходит вследствие возгораний от разрядов молний при грозе, но подобное происходит не каждый год (Гамова, 2017б). Анализ фактической горимости лесов Южного Прибайкалья (Софронов и др., 2008) показал, что на территории Байкальского заповедника она минимальна для данного региона. Коренные темнохвойные леса северного макросклона Хамар-Дабана малоустойчивы к огню; кедр и пихта отличаются высокой чувствительностью к огневым повреждениям как при верховых (повреждение кроны), так и при низовых (повреждение ствола, в т.ч. прикорневой шейки).

В лесных сообществах, нарушенных пожарами, запускаются процессы естественного восстановления – пирогенные сукцессии (Мелехов, 1947). Их общая длительность и направление, а также темпы и стадии возобновления зависят от ряда факторов: исходного типа леса и положения фитоценоза в системе высотной поясности, степени повреждения растительного сообщества, крутизны склона и увлажнения биотопа. В условиях Прибайкалья выделены следующие, наиболее общие стадии пирогенной сукцессии: до 1 года – «черная гарь» без травяного покрова, от 1 до 3-5 лет – травяная стадия, до 20-25 лет – стадия кустарников и мелкого древесного подроста до смыкания крон, до 40 лет – хвойный жердняк или вторичный мелколиственный лес; до 60 лет – средневозрастной хвойный или мелколиственный с подростом хвойных пород лес, до 80-100 лет – приспевающий хвойный или мелколиственно-хвойный лес, свыше 100-120 лет – спелый хвойный лес, возможно, с примесью лиственных пород (Гамова, 2014, 2017а). При приближении к возрасту 120-150 лет после пожара в отсутствие повторных нарушений сообщества приходят к состоянию условно-коренных лесов. В ходе послепожарного возобновления изменяется флористический состав и структура фитоценозов. Значительные изменения претерпевает почвенный покров (Certini, 2014). Среди важных последствий нужно отметить изменение таких химических, физических и физико-химических свойств почв, как содержание и состав органического вещества, величина показателя рН, содержание и доступность биогенных элементов, а также ускоренная эрозия почв (Краснощечков, 2004, 2007, 2018; Effects of Fire ..., 2005; Thomaz et al., 2014).

Изучение послепожарного возобновления лесов в естественных условиях малонарушенных территорий исключительно важно для понимания особенностей природных сукцессионных процессов и прогнозирования динамики нарушенных пожарами растительных сообществ.

Объекты и материалы исследования

Физико-географическое описание объекта исследования

В южной части Восточной Сибири распространен резкоконтинентальный климат умеренного пояса (Макунина, 1985), однако северный макросклон Хамар-Дабана относят к умеренно-континентальному климату вследствие тепляющего воздействия озера Байкал. Хребет относят к Хамар-Дабанской горно-гольцово-таежной климатической провинции (Картушин, 1969). Климат северного макросклона в центральной части Хамар-Дабана относительно мягок для Южной Сибири. Среднегодовые температуры варьируют здесь от

минус 0.3°C на метеостанции «Танхой» (460 м н.у.м. БС) до минус 3.4°C на метеостанции «Хамар-Дабан» (1420 м н.у.м. БС); средние температуры января составляют соответственно минус 17°C и минус 17.9°C, а июля – 14°C и 12.7°C. На исследуемых высотах выпадает примерно 1100 мм осадков в год; в теплое время года их максимум приходится на июль. Мощность снежного покрова составляет около 1.5-2 м. И годовая сумма осадков, и высота снежного покрова в этой части Хамар-Дабана максимальны для Прибайкалья (Ладейщиков и др., 1977).

Важно отметить, что в связи с типичной для этой территории затяжной и довольно теплой осенью, а также с обилием осадков и мощностью снежного покрова почвы на северном макросклоне зачастую не промерзают (Предбайкалье и Забайкалье, 1965). Таяние снежного покрова растянуто до поздней весны, что снижает риск развития пожаров в относительно бездождный период в апреле и мае (Картушин, 1969).

Среднегорье хребта Хамар-Дабан в его центральной части отличается резко пересеченным рельефом (Воскресенский, 1962; Воскресенский, Трошкина, 1971). Густота речной сети составляет 0.28 км на 1 км² при учете водотоков длиной свыше 10 км; дополнительно этот параметр возрастает за счет многочисленных ручьев меньшей протяженности (Проект ..., 1981). Указанные особенности способствуют поддержанию общей влажности территории на значительном уровне, а кроме того, служат естественной преградой распространению уже возникших пожаров.

Почвы горных склонов формируются на маломощном делювии гранитов, габбро и монзонитов пермского возраста (Бичурский комплекс; Геологическая карта, 1972). В почвенном покрове региона в верхних частях горных хребтов преобладают подзолы грубогумусовые и подбуры, перемежающиеся с литоземами оподзоленными и ожелезненными, а в нижних высотных поясах появляются дерново-подбуры и буроземы (Убугунов и др., 2012; Белозерцева, 2016; Краснощек, 2018; Хутакова, Алтаев, 2020).

Согласно районированию, принятому в работе «Зоны и типы поясности растительности России» (1999), территория хребта Хамар-Дабан относится к Бореальному классу поясности (Хамар-Дабанскому географическому варианту Восточно-Саянского типа Тувино-Южнозабайкальской группы типов поясности). Пояс среднегорной тайги занимает высоты от 500 до 1000-1200 м н.у.м. БС на наветренных склонах и отрогах хребта до 1400-1500 м н.у.м. БС в наиболее удаленных от байкальского побережья долинах крупных рек (Моложников, 2014). Более 70% территории Байкальского заповедника заняты лесами. На северном макросклоне преобладают темнохвойные породы, что связано с распространением непромерзающих почв и обилием осадков (Пешкова, 1985). В темнохвойной тайге сохраняется ряд неморальных видов, оставшихся с третичного периода (Епова, 1956). Их выживание на северном склоне также обусловлено особенностями температурного и водного режима почв.

Возникновение лесных пожаров в центральной части Хамар-Дабана связано в основном с прохождением гроз, в т.ч. «сухих» (без дождя). Среднее число дней с грозой в июне-августе на метеостанции «Хамар-Дабан» составляет в среднем 16-19 (Атлас Забайкалья ..., 1967). В то же время, исходя из общих физико-географических условий территории, нужно отметить, что число предпосылок для дальнейшего распространения пожаров относительно невелико. На это влияет и пересеченность рельефа, и густота речной сети, и общее количество осадков с летним максимумом и мощным снежным покровом, и широкое распространение папоротниковых и высокотравных типов леса, где напочвенный покров защищен от высыхания. Таким образом, лишь отдельные грозы приводят к возгоранию, а затем и к развитию пожара. Пожарная опасность может возрастать в отдельные годы с недостаточной мощностью снежного покрова и последующей ранней и сухой весной (Валендик, Иванова, 2001). Для Хамар-Дабана была показана высокая

корреляция между сезонным числом пожаров и их площадью с числом дней без осадков или с осадками менее 3 мм. Также пожарную опасность летом усиливает проявляющаяся здесь на высотах 800-1100 м н.у.м. БС температурная инверсия до 6-10°C, способствующая высыханию опада и подстилки (Софронова, 2005).

Участок исследования

Исследования проводились на территории Мишихинского лесничества Байкальского заповедника (Кабанский район республики Бурятия) – на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан. Гарь расположена в нижнем течении р. Левая Мишиха и занимает среднюю часть склона юго-восточной и восточной экспозиции по ее левобережью в долине самой реки и безымянного ручья, ее левого притока. Крутизна склона варьирует от 15 до 30°, перепад высот – от 670 до 1000 м н.у.м. БС. Участок гари вытянут вверх по склону; его ширина достигает 250 м, а общая длина – 750 м. Удар молнии пришелся на выступающий гребень-водораздел на стыке долин реки и ручья, что характерно для гор Южной Сибири (Иванов, Иванова, 2010). Пожар возник от грозы 2 июля 2011 года и продолжался четыре дня, в течение которых достиг площади 12.8 га (10 га пройдено устойчивым низовым пожаром, 2.8 га – комбинированным низовым + верховым). Расположение участка исследования представлено на рисунке 1.

Ненарушенная растительность на участке исследования представлена спелыми пихтовыми лесами (*Abies sibirica* Ledeb.) с участием кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), подлеском из рябины (*Sorbus sibirica* Hedl.) и разреженным кустарниковым ярусом (*Lonicera pallasii* Ledeb., *Spiraea flexuosa* Fisch. ex Cambess.) ветреницево (*Arsenjevia baicalensis* (Turcz.) Starod.)-злаково-разнотравными (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin., *Galium triflorum* Michx., *Melica nutans* L., *Milium effusum* L., *Thalictrum minus* L.) с папоротниками (*Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy) и таежным мелкотравьем (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Trientalis europaea* L.). На отдельных участках в кустарниках также отмечены малина *Rubus idaeus* L. и бузина *Sambucus sibirica* Nakai, а в травяном ярусе – бадан *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch. и орляк *Pteridium pinetorum* C.N. Page & R.R. Mill. Пихтарники с участием ветреницы байкальской (*Arsenjevia baicalensis* (Turcz.) Starod.) характерны для среднегорий наветренных склонов Хамар-Дабана и Баргузинского хребта, для которых был описан особый влажный прибайкальский тип поясности растительности (Тюлина, 1976).

Почвенный покров ключевого участка представлен вариациями буроземов ожелезненных и литоземов серогумусовых ожелезненных на позициях с близкими выходами коренных пород. Органические горизонты фоновых почв представлены опадом и оторфованной подстилкой О, органоминеральные горизонты – серо-гумусовым горизонтом АУ и переходными горизонтами Ау/Вм и Вм/Ау. Срединным горизонтом является структурно-метаморфический с признаками ожелезнения ВМf. Почвы отличаются малой мощностью около 30 см, высокой скелетностью, гранулометрический состав верхних горизонтов легкосуглинистый и супесчаный (Кошовский и др., 2022).

Материалы и методы

Описание растительности на участке проводилось ежегодно с 2011 по 2019 гг. между третьей декадой июня и первой декадой августа на размеченных постоянных пробных площадях 10 × 10 м. Кроме того, были заложены «фоновые» площадки в прилегающем ненарушенном лесном фитоценозе, которые выбирались согласно общепринятой методике проведения геоботанических исследований динамики растительного покрова

(Методы ..., 2002; Мониторинг ..., 2002). Также был собран гербарий, образцы которого переданы в Гербарий им. Д.П. Сырейщикова в МГУ (MW) и доступны онлайн (Серегин, 2023).

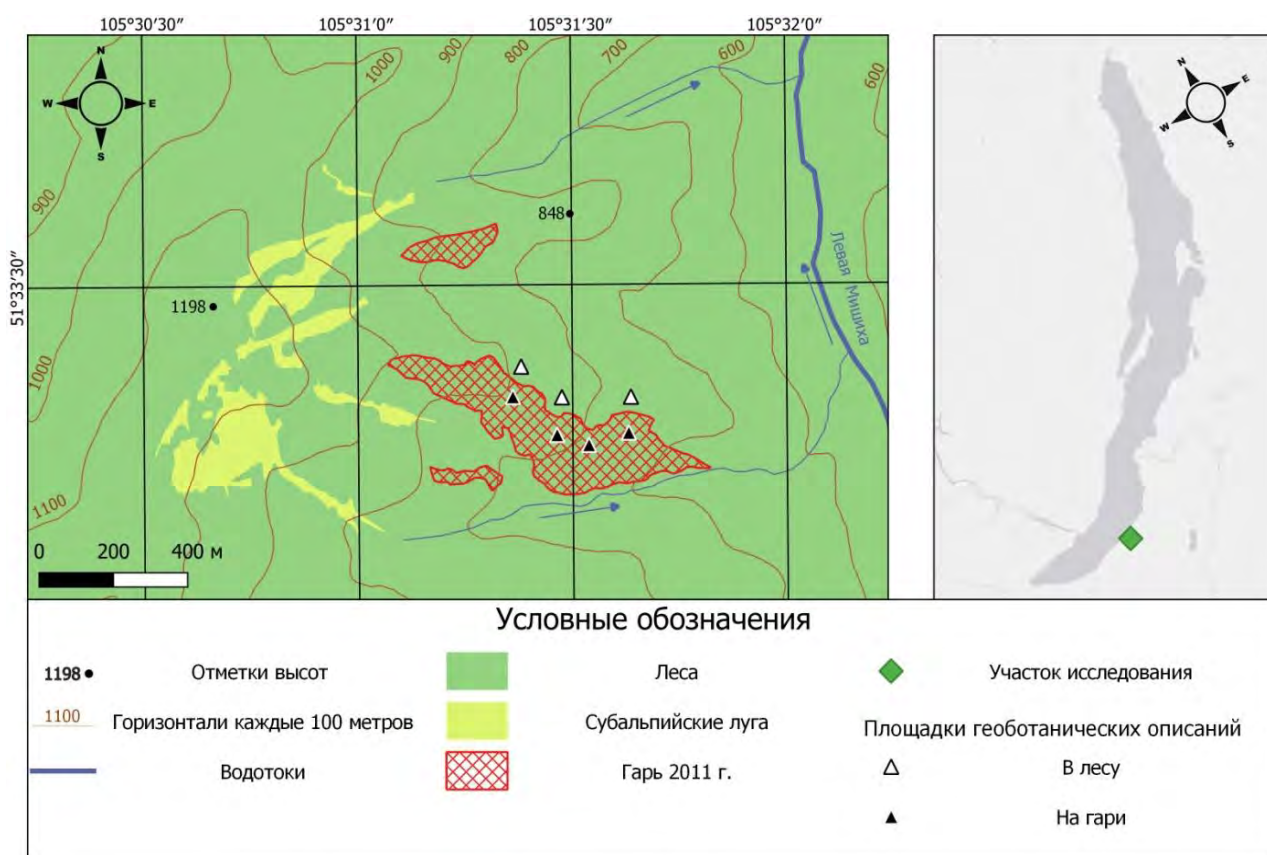


Рис. 1. Картограмма гари и прилегающего леса с точками геоботанических описаний.

Fig. 1. Schematic map of the burnt area and the adjacent forest showing the sites of relevées.

Для анализа флоры гарей и ненарушенных сообществ были рассчитаны коэффициенты активности видов по методике Л.И. Мальшева (1973). Мы использовали классическую формулу $R = \sqrt{A \cdot B}$, где A – постоянство вида (в 5 классах), а B – обилие вида (в 10 классах). Значения коэффициента варьируют от 0 до 7.1 (квадратный корень из 50 при максимальном пятом классе постоянства и максимальном десятом классе обилия вида). Для более точной оценки степени сходства флористического состава участка гари и ненарушенного леса был использован коэффициент Жаккара (K_j), который рассчитывается по формуле $K_j = c / (a + b - c)$, где a – число видов в первом сообществе, b – число видов во втором сообществе, c – число видов, общих для двух сообществ. Значения коэффициента могут варьировать от 0 (полное несходство) до 1 (идентичные сообщества; Нешатаев, 1987).

Для оценки флористического разнообразия мы использовали общее богатство видов, а также разнообразие эколого-ценотических групп (ЭЦГ; Смирнов и др., 2006). Под эколого-ценотическими группами понимаются группы видов растений, сходных по экологическим требованиям и приуроченности к определенным типам сообществ (Заугольнова, Смирнова, 2000). Принадлежность видов к ЭЦГ устанавливалась по шкалам ЦЭПЛ (2023), а также по работам, посвященным горам юга Сибири (Назимова, 1975; Исмаилова, 2007). Номенклатура приведена согласно Plants of the World Online (2023).

Результаты и обсуждение

После прохождения пожара лесные сообщества претерпели существенные изменения. Древозой, образованный малоустойчивыми к воздействию пожара кедром и пихтой, погиб на обследуемом участке полностью. С 2013 года отмечено начало выпадения стволов горельника, и к 2016 году на гари выпали почти все крупные стволы кедров; среди погибшего пихтового древозоя на корню оставалась некоторая часть стволов. К 2019 году на участке гари остались лишь единичные стволы сгоревших пихт.

Древесный подрост (первые всходы кедра) на гари отмечался с 2012 г., в 2013 г. отмечено шесть пород: *Pinus sibirica*, *Abies sibirica*, *Betula platyphylla* Sukaczew и *B. pubescens* Ehrh., а также породы подлеска *Salix caprea* L. и *Sorbus sibirica*. С 2016 г. отмечен единичный подрост еще одной коренной темнохвойной породы – *Picea obovata* Ledeb. Интересно, что участие ивы козьей в числе вторичных послепожарных лесов (что отмечено и на других участках гарей Байкальского заповедника) сближает северный макросклон Хамар-Дабана с горами Приморья, где данный вид на гарях обычен (Комарова, 1986). Среди древесных видов, произрастающих в ненарушенном фоновом лесу, но отсутствующих на гари вплоть до 2019 г., можно отметить *Padus avium* Mill. В то же время, несмотря на видовое разнообразие пород возобновления на участке гари, древесный подрост все годы наблюдения оставался малочисленным. К 2016 г. максимальная высота его достигала не более 0.3-0.4 м для хвойных и 0.5 м для лиственных пород. Также начиная с 2016 г. мы наблюдаем поедание подроста березы и ивы зайцем и косулей, которые скусывают верхние части молодых побегов. Подобное явление было отмечено на других гарях с мелколиственным подростом; эти участки служат кормовыми станциями животных. Поскольку исследуемая гарь в целом находится в достаточно благоприятных условиях относительно возможных источников семян (в окружении ненарушенных лесных сообществ), то, по-видимому, отсутствие массового возобновления древесных пород можно объяснить сомкнутостью ярусов кустарников и трав, препятствующих заселению деревьев (Гамова, 2014, 2017а). В 2017-2019 гг. мы наблюдали общее увеличение численности подроста и усиление активности берез. По-видимому, березы будут составлять основную породу возобновления на гари, и при их скорости роста, бóльшей чем у темнохвойных пород, здесь сформируется вторичный мелколиственный древозой. В то же время наличие подроста кедра и пихты сразу на ранних стадиях сукцессии говорит о том, что условно-коренные растительные сообщества могут восстановиться на данном участке быстрее и успешнее, чем в случае появления их подроста лишь на стадии взрослого березняка. Древесный подрост был немногочислен и на фоновом участке, но главное отличие подроста на гарях от подроста в ненарушенных лесах – его распределение по возрастам. В условно коренном лесу подрост разновозрастен, тогда как нарушенные фитоценозы отличаются массовым подростом приблизительно одинакового возраста, выросшим в первые годы после пожара и формирующим впоследствии одновозрастные вторичные древозои, по которым можно индентифицировать пожары даже через длительное время (Краснощеков и др., 2010).

Кустарниковый ярус на гари представлен в основном *Rubus idaeus*, которая заселила этот участок с 2012 г. Также на гари в небольшом количестве отмечены *Sambucus sibirica*, реже – *Spiraea flexuosa* Fisch. ex Cambess. и *Ribes nigrum* L. Общее проективное покрытие кустарникового яруса в пределах гари непостоянно. Так, например, в 2013-2014 гг. наблюдался максимум обилия малины на всех участках гари. В 2016 г. сохранялся обширный участок обильно плодоносящего малинника в нижней части склона с гарью, тогда как по мере продвижения к верхней части склона кустарники были редки. К 2019 г. обилие малины снизилось, что демонстрирует постепенный переход к следующей стадии сукцессии, когда бóльшую роль начинает приобретать древесный подрост. Также отметим, что малинник на

гари обильно плодоносит, и на данном участке кормятся медведи.

Наибольшим разнообразием на гари отличается ярус травянистых растений. Его состав и общее число видов значительно менялись в первые годы пирогенной сукцессии. В течение лета 2011 г. здесь начали восстанавливаться только четыре вида: *Bergenia crassifolia*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium* и *Trientalis europaea* L. В то же время в 2012 г., т.е. в первый полный вегетационный период после прохождения огня, на участке гари уже было отмечено 25 видов травяно-кустарничкового яруса. В последующие годы в травостое послепожарного фитоценоза проявились типичные доминанты: *Calamagrostis langsdorffii*, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и *Pteridium pinetorum*. В 2019 г. в средней части гаревого склона среди доминантов можно отметить орляк и вейник, а в верхней части склона с гарью одного явного доминанта не было, здесь обычны были *Calamagrostis langsdorffii*, *Chamaenerion angustifolium*, *Galium boreale* L., *Pteridium pinetorum* и *Rubus saxatilis* L. с примерно равным обилием. В верхней части склона с гарью проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса было снижено до 70-75%, а кустарниковый ярус разрежен. При этом под сплошным пологом малины и орляка травянистые растения были представлены в основном видами таежного мелкотравья (*Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium*, *Phegopteris connectilis*, *Trientalis europaea*, *Viola selkirkii* Pursh ex Goldie и др.), а на участках с вейником и без выраженных доминантов обычны были также *Anthoxanthum alpinum* Å. Löve & D. Löve, *Bergenia crassifolia*, *Galium boreale*, *G. triflorum*, *Melica nutans*.

Общее состояние фитоценозов ненарушенного леса и гари в ходе возобновления представлено на рисунке 2.

Напочвенный покров в фоновом сообществе представлен небольшими куртинами зеленых мхов (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Dicranum* spp.) и *Polytrichum commune* Hedw.; лишайники не отмечены. Общее проективное покрытие было не более 5%. В первые годы после пожара на гари практически полностью отсутствовал моховой покров; с 2013 г. отмечено начало отрастания куртинок *Dicranum* и *Polytrichum* от особей, сохранившихся на приствольных повышениях погибших в пожаре деревьев. В этот же период, 2012-2013 гг., на всем участке гари массовое покрытие давал печеночник *Marchantia polymorpha* L., характерный для ранних стадий пирогенных сукцессий. В последующие годы с увеличением проективного покрытия травостоя и кустарников его обилие снизилось, и начиная с 2016 г. он практически исчез. К 2019 г. новые виды мхов на участке гари не появились.

Важным показателем в послепожарной динамике растительных сообществ является общее число видов. На представленной столбчатой диаграмме (рис. 3) отражена динамика числа видов на гари за период 2011-2019 гг. по сравнению с фоновым ненарушенным лесом.

Наряду с закономерным резким снижением числа всех видов в первый год и постепенным повышением числа видов древесно-кустарниковых пород во второй-пятый сезоны после пожара, динамика для травянистых растений отличается другими особенностями. Так, заметен относительный максимум (29 видов) в 2013 г., однако в 2014-2016 гг. их число вновь уменьшается, хотя и постепенно. Эта особенность – «всплеск» числа видов травянистых растений – свойственна многим лесным гарям и связана с несложившейся еще структурой сообщества на ранних стадиях пирогенных сукцессий (рис. 3). В 2018-2019 гг. число видов травянистых растений вновь увеличивается. Возможно, это связано с постепенным снижением участия малины в ходе сукцессии (и, таким образом, снижением конкуренции) и освобождением экологической ниши/ресурсов. В то же время заметим, что при максимуме в 2013 г. число травянистых растений на гари достигло уровня в 67.4% (29 видов от 43) от аналогичного показателя для ненарушенного сообщества.



Рис. 2. Ненарушенный пихтовый лес (2.1), гарь: в 2011 г. сразу после пожара (2.2), в 2013 г. (2.3), 2015 (2.4), 2017 (2.5) и 2019 гг. (2.6). **Fig. 2.** Undisturbed Siberian fir forest (2.1), burnt area just after the wildfire: in 2011 (2.2), in 2013 (2.3), in 2015 (2.4), in 2017 (2.5), in 2019 (2.6).

Таким образом, говорить о полном восстановлении травяного яруса не приходится. Обращает на себя внимание также то, что не только в лесном сообществе есть виды, не встретившиеся на гари (в 2011-2019 гг. на участке гари не были отмечены 14 лесных видов), но и на гари произрастают виды, не характерные для леса (9 видов за тот же период). Однако если во второй группе на гари появились такие характерные послепожарные виды, как *Chamaenerion angustifolium* или опушечный светолюбивый вид *Rubus saxatilis*, то в отношении двух видов злаков *Festuca altissima* All. и *Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv. можно предположить, что на гари они более обильны и потому хорошо диагностируются, т.к. на освещенном участке ежегодно плодоносят. Вероятно, они также могут произрастать в прилегающем ненарушенном сообществе, где в условиях большего затенения остаются лишь в вегетативном состоянии, что затрудняет их идентификацию.

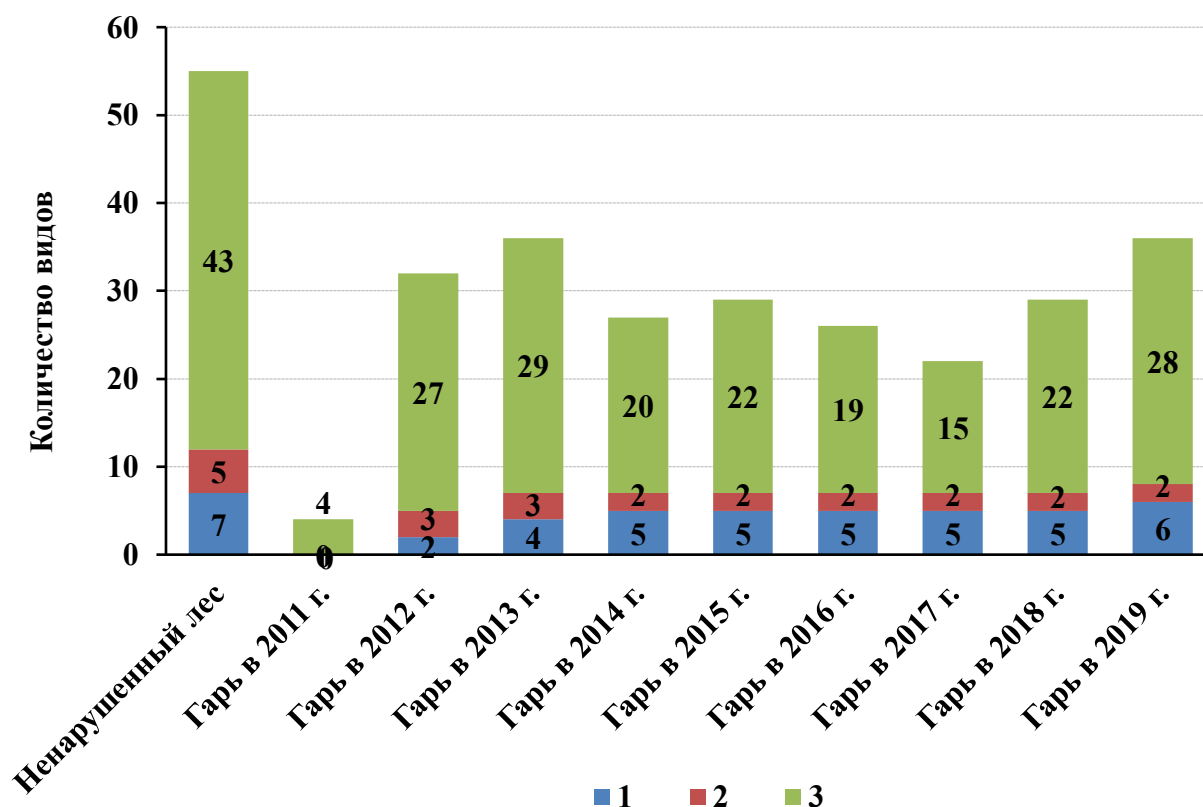


Рис. 3. Изменение числа видов деревьев (1), кустарников (2), травянистых растений и кустарничков (3) в 2011-2019 гг. **Fig. 3.** Change in the number of species of trees (1), shrubs (2), herbaceous plants and dwarf shrubs (3) in 2011-2019.

Говоря о видовом богатстве послепожарных фитоценозов, нельзя не отметить редкие и охраняемые растения. На данном участке, в нижней части гари были отмечены 2 вида, внесенные в Красные книги (Красная книга ..., 2008, 2013): *Festuca altissima* и *Arsenjevia baicalensis*, которые, по-видимому, успешно распространились благодаря сниженной конкуренции после пожара. В обоих случаях на гари они обильнее, чем в ненарушенном лесу. Подобное отмечено и на других гарях в среднегорье северного макросклона Хамар-Дабана (Алексенко, Гамова, 2015; Гамова, 2017а). Аналогичные темпы восстановления отдельных редких видов характерны гарям Саяно-Шушенского заповедника (Шикалова, 2019).

Важным аспектом изучения восстановительной динамики послепожарных растительных сообществ является сравнение флористического состава фитоценозов гари и ненарушенного леса. Коэффициент Жаккара (Kj) – один из самых распространенных и широко применяемых в различных геоботанических исследованиях. Динамика значения коэффициента приведена на рисунке 4.

Начиная со второго вегетационного сезона от прохождения пожара значение коэффициента приближается к 0.5 и сохраняется таким в течение 8 лет, с небольшими колебаниями, вызванными непостоянством видового состава в первые годы пирогенной сукцессии. По опыту нашего исследования послепожарного возобновления пихтарников сходной группы отметим, что этот показатель может возрасти и приблизиться к единице лишь на поздних стадиях восстановления леса, когда в древесный ярус начнет выходить подрост коренных темнохвойных пород (Гамова, 2014, 2017а).

Помимо общего флористического разнообразия послепожарных сообществ интерес

представляет распределение видов по эколого-ценотическим группам (ЭЦГ) – группам видов растений, которые сходны по своим экологическим требованиям и приуроченности к определенным типам сообществ. Для гор Южной Сибири и Прибайкалья выделен ряд групп, в т.ч. на участке исследования нами были отмечены следующие: Aa – арктоальпийские виды, Br – таежное мелкотравье, Md – лугово-лесное и опушечное разнотравье и злаки, Nm – неморальные виды, Nt – нитрофилы, Pn – виды боровой группы, Rp – скальные виды, TH – таежное крупнотравье и папоротники, и Wt – влаголюбивое разнотравье, приручьевые виды. Вместе с динамикой общего разнообразия видов на ранних стадиях сукцессии быстрые изменения от года к году претерпевает и спектр ЭЦГ (рис. 5).

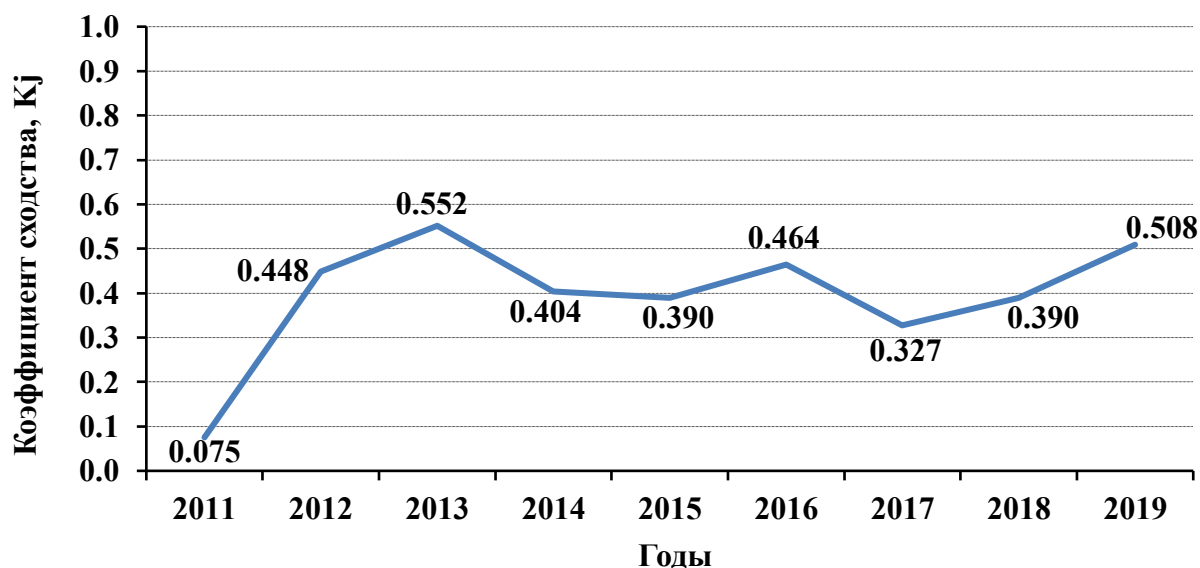


Рис. 4. Динамика сходства флористического состава гари и ненарушенного леса в 2011-2019 гг. по коэффициенту Жаккара. **Fig. 4.** The dynamics of similarity of the floral composition of burnt area and undisturbed forest in 2011-2019 (Jaccard Index).

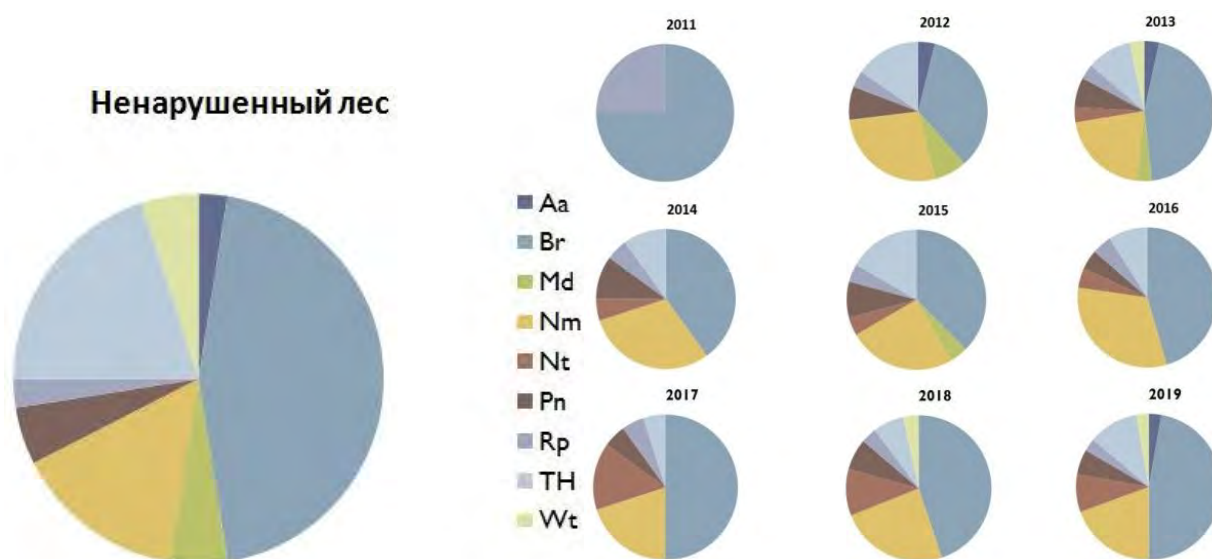


Рис. 5. Спектры ЭЦГ видов в ненарушенном лесу и на гари в 2011-2019 гг. **Fig. 5.** Spectrums of coenotic (eco coenotic) groups in the undisturbed forest and in the burnt area in 2011-2019.

Первые годы после прохождения пожара – период быстрой смены и непостоянства видового состава растительных сообществ, что ярко отражено на диаграммах. В то же время во все годы заметно явное преобладание видов группы таежного мелкотравья (Br), доминирующей и в фоновом ненарушенном сообществе. Также на данном участке довольно обильны представители групп неморальных видов (Nm) и таежного крупнотравья (ТН). Их присутствие на гари с первых лет после пожара свидетельствует об умеренной (относительно невысокой) степени и глубине пирогенной нарушенности почв, при которой сохраняются подземные органы растений (клубни и корневища). Однако в группе ТН на данном и многих других сходных участках гарей на долгое время после пожара пропадают многие крупные папоротники, например, *Dryopteris expansa*, корневища которого располагаются близко к поверхности почвы и вследствие этого сильнее страдают от огня. Важнейшее отличие спектров ЭЦГ между пирогенными сообществами и ненарушенным лесом заключается в появлении на гари группы нитрофильных видов (Nt): иван-чая, бузины и малины, – которые активно участвуют в сложении послепожарных фитоценозов в первые годы сукцессии в связи с обогащением почвы азотом, поступившим с золой. В коренных лесах эти виды также встречаются, но там гораздо менее многочисленны и в основном приурочены к опушкам, прогалам и прочим относительно открытым участкам. Отметим, что в нашем случае на гари не во все годы отмечено присутствие опушечно-лугового (Md) вида *Hieracium ganeschii* Zahn и арктоальпийского (Aa) *Anthoxanthum alpinum*, которые произрастают в смежном с гарью лесу. Это многолетние растения, и потому возможно, что они не пропадали из состава пирогенного сообщества, но были угнетены в период доминирования орляка, малины и вейника ввиду затенения этими видами нижних ярусов травостоя. Особенно отметим полное отсутствие как на гари, так и в фоновом ненарушенном сообществе представителей рудеральных групп видов, что объясняется удаленным положением гари от антропогенно преобразованных территорий. В целом же только в 2011 году непосредственно после прохождения огня на гари отмечалось всего две ЭЦГ. Начиная с 2012 г. спектр их существенно расширился и стал сравним с таковым для ненарушенного леса, что говорит об успешности хода послепожарного возобновления. В 2016-2019 гг. доля видов бореальной группы (Br) в сообществе гари приближается к значениям около 50%, что соответствует показателям ненарушенного леса.

Структура растительного сообщества в первые несколько лет после пожара претерпевает наиболее значительные изменения. Основное отличие – исчезновение древесного яруса, на восстановление которого в условиях темнохвойных лесов Прибайкалья уходит минимум 30-40 лет, и при этом в начале сукцессии появляется вторичный мелколиственный (в нашем случае – березовый) лес. Подобное отмечено на участках гарей по южному побережью Байкала (Сизых и др., 2019). Для прочих ярусов лесного фитоценоза заметны изменения в общем проективном покрытии (ОПП)/сомкнутости (рис. 6).

ОПП травяно-кустарничкового яруса после пожара снизилось от 50-95% в ненарушенном сообществе до 0% сразу после пожара. Восстановление ОПП шло довольно быстро: 5% было отмечено к концу вегетационного сезона 2011 г.; в 2012 г. этот показатель достигал 15-25%, в 2013 г. – 25-35%, в 2014 г. – 40-50%, в 2015 г. – 70-100%. В 2016 г. на некоторых участках травянистые растения начали вытесняться кустарниками и древесным подростом и появились участки, где ОПП снизилось до 40%, но сохранились и такие, где оно достигало почти 100%. Таким образом, за первые 5 лет после пожара этот показатель для гари сравнялся с диапазоном величин, характерных для ненарушенного сообщества. В 2017-2019 гг. наблюдались небольшие колебания показателя проективного покрытия травяного яруса, но в целом оно сохраняется в пределах, близких к коренному лесу. Проективное покрытие кустарничкового яруса на участке гари стало значительно выше в первые несколько лет после пожара за счет резкого увеличения численности малины, но обычно она не

сохраняется на гари дольше первых двух десятков лет. На данном участке заметно постепенное снижение проективного покрытия малины после максимума в 2013-2015 гг.

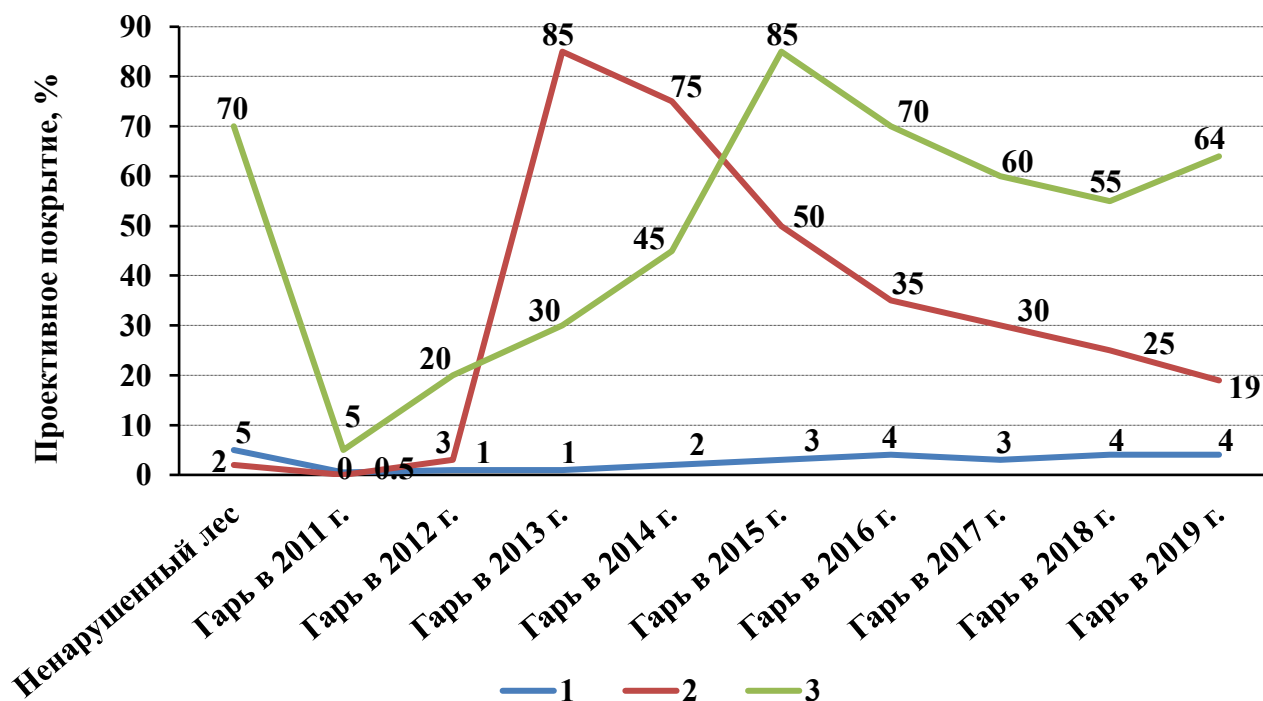


Рис. 6. Динамика проективного покрытия древесного подроста (1), кустарников (2) и травяно-кустарничкового яруса (3) в 2011-2019 гг. **Fig. 6.** Dynamics of the projective plant cover of forest undergrowth (1), shrubs (2) and herbaceous plants and shrublets (3) in 2011-2019.

Суммарно общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса и сомкнутость яруса кустарников на гари в 2013-2019 гг. достигали не менее 80%. Этот показатель важен для оценки опасности развития почвенной эрозии, т.к. незадернованные участки крутых склонов в гумидных условиях среднегорья на Хамар-Дабане подвержены размыву, тогда как поверхности, находящиеся под сомкнутым растительным покровом, устойчивы (Краснощеков, Чередникова, 2012, 2022). Исследуемый участок гари с густым травяно-кустарничковым и кустарниковым ярусами, таким образом, усиленной эрозии не подвержен.

Одним из показателей участия вида в сообществе можно считать его активность, т.е. производную величину, учитывающую как обилие данного вида на отдельной пробной площадке, так и постоянство его присутствия на всех точках описаний. Значения коэффициентов активности каждого вида для древесного подроста, кустарников и травяно-кустарничкового яруса приведены в таблице.

Как видно из таблицы, активность одних и тех же видов растений в ненарушенном лесу и на участке гари неодинакова. Активность древесного подроста на гари увеличивается, поскольку условия освещенности, доступности элементов минерального питания, а также конкуренции на открытом участке более благоприятны, чем в высокоствольном ненарушенном лесу. Для кустарников, однако, мы наблюдаем две разнонаправленных тенденции. Типичные лесные виды *Lonicera pallasii* и *Spiraea flexuosa*, обычные в темнохвойных лесах среднегорья северного макросклона хребта Хамар-Дабан, на гари наблюдались только в 2012-2013 гг.: это особи, поврежденные огнем и не восстановившиеся после пожара. До 2019 года молодого подроста жимолости и спиреи на гари не отмечено.

Таблица. Активность видов на участке гари и в ненарушенном лесном сообществе.
Table. Species' activity in the burnt area and in the undisturbed forest.

ЭЦГ		Лес	Гарь, года							
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Деревья (подрост, всходы)										
Br	<i>Abies sibirica</i>	3.0	–	1.7	2.6	2.8	1.4	3.2	2.6	2.8
Br	<i>Betula</i> (<i>pubescens</i> + <i>platyphylla</i>)	2.2	–	2.8	3.2	3.2	2.8	3.2	3.2	5.5
Br	<i>Picea obovata</i>	–	–	–	–	–	1.4	–	–	2.0
Br	<i>Pinus sibirica</i>	1.4	2.0	2.2	2.6	2.8	1.4	3.2	2.6	2.4
Br	<i>Salix caprea</i>	1.4	–	–	2.	3.2	1.4	–	2.6	3.2
Br	<i>Sorbus sibirica</i>	2.8	–	1.7	2.0	1.7	–	3.2	2.0	2.8
Кустарники										
Br	<i>Lonicera pallasii</i>	2.4	1.4	1.7	–	–	–	–	–	–
Nt	<i>Rubus idaeus</i>	4.2	2.0	7.1	7.1	6.3	6.3	5.5	6.3	4.5
Nt	<i>Sambucus sibirica</i>	1.4	2.2	2.8	3.2	3.2	2.4	2.2	3.2	4.5
Nm	<i>Spiraea flexuosa</i>	1.4	1.4	–	–	–	–	–	–	–
Кустарнички и травянистые										
TH	<i>Aconitum septentrionale</i>	2.4	1.4	2.2	2.0	–	1.4	–	2.0	1.4
Nm	<i>Anemone reflexa</i>	–	2.0	1.7	–	–	–	–	–	–
Aa	<i>Anthoxanthum alpinum</i>	1.7	1.4	1.7	–	–	–	–	–	1.4
Nm	<i>Arsenjevia baicalensis</i>	4.2	3.0	2.8	3.2	1.7	1.4	1.7	2.0	3.5
Rp	<i>Bergenia crassifolia</i>	1.7	2.0	2.2	2.6	2.8	2.8	2.8	2.0	2.8
Nm	<i>Brachypodium pinnatum</i>	–	–	–	–	–	–	–	2.0	1.4
TH	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	2.4	2.0	3.2	4.5	5.5	5.5	4.5	5.5	5.5
Br	<i>Calamagrostis obtusata</i>	1.7	1.4	1.7	–	–	1.4	–	2.6	2.4
Br	<i>Carex iljinii</i>	2.2	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Pn	<i>Carex macroura</i>	–	2.0	1.7	2.0	1.7	–	–	2.0	3.2
Nt	<i>Chamaenerion angustifolium</i>	–	–	3.2	3.2	3.2	2.0	1.7	2.0	3.2
Br	<i>Circaea alpina</i>	2.2	–	1.7	–	–	2.0	–	–	–
TH	<i>Cirsium helenioides</i>	1.4	1.4	1.7	–	1.7	–	–	–	–
Br	<i>Dryopteris expansa</i>	4.2	2.0	2.2	2.0	2.2	2.0	–	2.0	1.4
Wt	<i>Equisetum hyemale</i>	–	–	1.7	–	–	–	–	2.0	1.4
Nm	<i>Festuca altissima</i>	–	–	–	3.2	1.7	1.4	1.7	2.6	2.4
Br	<i>Galium boreale</i>	–	2.2	2.2	2.0	1.7	1.4	3.2	2.6	1.4
Nm	<i>Galium triflorum</i>	2.2	1.4	2.2	2.0	–	1.4	1.7	2.0	1.4
Br	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	4.5	2.6	2.8	2.0	–	2.0	2.2	2.0	2.8
Md	<i>Hieracium ganeschunii</i>	1.4	1.4	1.7	–	2.2	–	–	–	–
Nm	<i>Lamium album ssp. orientale</i>	1.4	1.4	–	2.0	–	1.4	–	3.2	2.0
TH	<i>Lilium pilosiusculum</i>	–	1.4	–	–	1.7	–	–	–	1.4
Br	<i>Luzula pilosa</i>	2.2	–	2.8	2.0	–	–	–	2.6	2.4
Br	<i>Lycopodium annotinum</i>	1.7	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Maianthemum bifolium</i>	3.2	3.2	4.5	3.2	2.8	2.0	2.2	2.6	3.2

Продолжение таблицы.

ЭЦГ		Лес	Гарь, года							
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nm	<i>Melica nutans</i>	2.4	2.0	3.2	2.6	2.2	2.0	3.2	3.2	2.8
Nm	<i>Milium effusum</i>	4.2	2.6	3.2	2.6	2.2	–	–	3.2	3.2
Br	<i>Oxalis acetosella</i>	2.8	1.4	1.7	–	–	1.4	–	–	1.4
Nm	<i>Paris obovata</i>	1.7	2.2	2.2	–	–	–	–	–	–
Br	<i>Phegopteris connectilis</i>	3	2.2	1.7	–	2.8	1.4	1.7	2.6	2.8
Pn	<i>Pteridium pinetorum</i>	2.2	2.2	1.7	3.7	5.5	2.8	4.0	4.5	4.9
Br	<i>Rubus saxatilis</i>	–	1.4	–	–	1.7	–	–	–	–
ТН	<i>Senecio nemorensis</i>	1.4	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Solidago dahurica</i>	2.2	3.0	2.8	–	–	–	–	–	–
Br	<i>Trientalis europaea</i>	3.2	3.2	2.8	2.6	2.8	3.2	3.2	3.2	3.2
Br	<i>Vaccinium myrtillus</i>	2.4	1.4	1.7	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Viola selkirkii</i>	2.2	–	2.2	2.6	1.7	2.0	1.7	–	–

Примечание к таблице: градациями цвета выделены виды со средней (розовый) и наибольшей активностью (фиолетовый); низкие значения коэффициента не отмечены.
Notes to Table: pink color marks the species with average activity, while dark pink marks the ones with the highest activity; the lowest values are unmarked.

В то же время два других вида, опушечные и нитрофильные *Rubus idaeus* и *Sambucus sibirica*, в послепожарном сообществе гораздо более активны. В случае с малиной в 2013 и 2014 гг. значение коэффициента достигает его возможного максимума 7.1, чего не наблюдается ни для какого другого вида. Среди видов травяно-кустарничкового яруса во все годы наиболее активны *Calamagrostis langsdorffii* и *Pteridium pinetorum* (до 5.5), тогда как в лесном сообществе данный показатель более чем вдвое ниже. Кроме этого, в группу активных видов входят *Chamaenerion angustifolium*, *Maianthemum bifolium* и *Trientalis europaea*, а также *Arsenjevia baicalensis*. Некоторые виды активны только в ненарушенных лесах, а на гари полностью отсутствуют или же временно выпадают из состава сообществ в первые годы после пожара. Среди них можно отметить *Anemone reflexa*, *Anthoxanthum alpinum*, *Carex iljinii*, *Lycopodium annotinum* L., *Senecio nemorensis* L., *Solidago dahurica* Kitag., *Vaccinium myrtillus* L. Они относятся к разным ЭЦГ, но все довольно светолюбивы. Вероятнее всего, их временное отсутствие на участке гари объясняется большой затененностью ярусами малины, орляка и вейника, массовое развитие которых приходится на первые годы пиrogenной сукцессии. В дальнейшем можно ожидать постепенного увеличения их активности. В лесном сообществе наибольшей активностью отличаются *Arsenjevia baicalensis*, *Dryopteris expansa*, *Gymnocarpium dryopteris* и *Milium effusum* – 4.2-4.5. Последние два вида также отмечены на гари со средними значениями коэффициента активности, а *Dryopteris expansa* вплоть до 2019 года не встречался. По-видимому, его возобновление после пожара возможно на более поздних стадиях сукцессии. Виды рода *Calamagrostis* и *Pteridium* широко участвуют в ранних стадиях пиrogenных сукцессий различных регионов умеренного климата, временами угнетая прочие; подобное отмечено как в работах по Западной Сибири (Малиновских, 2014, 2017), так и в горных регионах Швейцарии (Delarze et al., 1992).

Интересно также обратить внимание на сравнительную активность видов различных ЭЦГ. На рисунке 7 представлена динамика этого показателя за 2011-2019 гг. на

гари в сравнении с ненарушенным лесным фитоценозом.

На ранних стадиях восстановительной сукцессии выделяются нитрофильная (*Chamaenerion angustifolium*, *Rubus idaeus*, *Sambucus sibirica*) и боровая группы (*Pteridium pinetorum*). Это объясняется в первом случае увеличением количества доступного азота в почве после пожара, а во втором – возросшей освещенностью участка гари по сравнению с фоновым сообществом. Активность видов бореальной и неморальной групп, а также таежного высокотравья на гари в целом, сравнима со значениями для ненарушенного леса. Заметно, что на гари год от года показатели активности многих ЭЦГ значительно изменяются, а общий диапазон составляет 4.5 единицы. В ненарушенном лесу показатели активности видов всех ЭЦГ довольно близки между собой – 1.4-2.5. Столь существенная разница в показателях активности видов между двумя сообществами вызвана, с одной стороны, контрастностью условий гари по сравнению с лесом, а, с другой стороны, формированием на гари временных парцелл, сменяющих друг друга в течение первых лет после пожара, когда структура сообщества еще не сформировалась.

Заключение

Проведенное подробное исследование участка гари в среднегорном пихтарнике северного макросклона Хамар-Дабана – первый опыт изучения долговременной послепожарной динамики лесов Байкальского заповедника на постоянных пробных площадях. Ряд особенностей, отмеченных нами на ранних стадиях пирогенной сукцессии, имеет общие черты с тенденциями послепожарного возобновления темнохвойных лесов, ранее показанных для Байкальского региона. В то же время мягкий и влажный климат, а также широкое распространение здесь редких или реликтовых видов растений определяют специфичные черты растительности гарей и общего хода восстановления лесных фитоценозов. Полученные материалы представляют собой часть многолетнего исследования разновозрастных гарей и вторичных послепожарных лесов Байкальского заповедника, на которых заложена сеть постоянных пробных площадей.

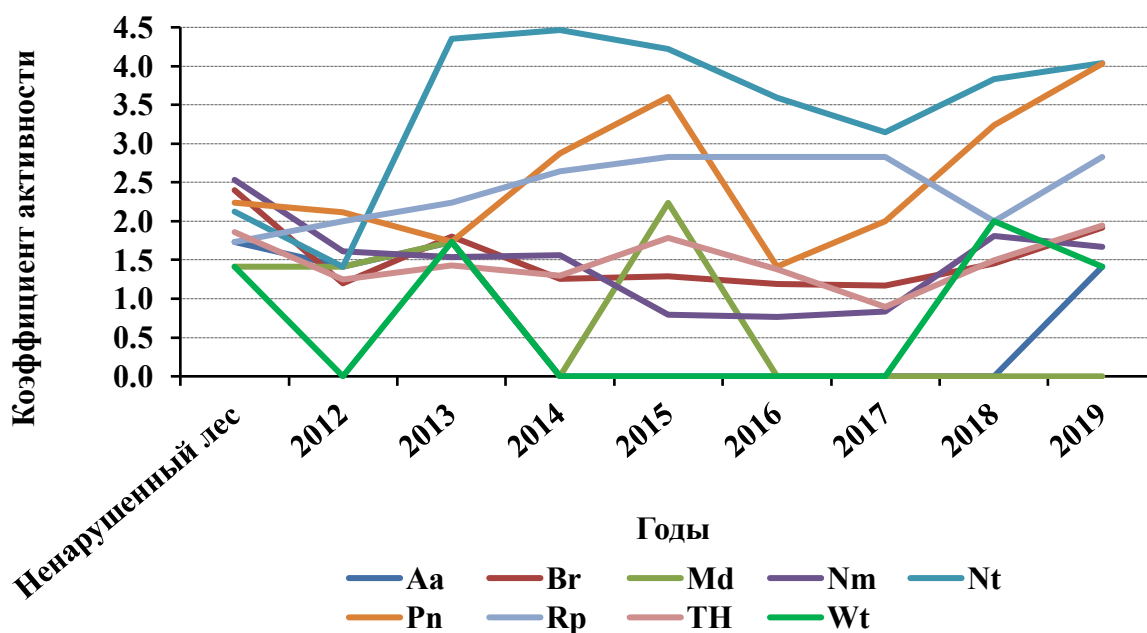


Рис. 7. Динамика активности видов различных ЭЦГ на гари и в ненарушенном лесу.

Fig. 7. Dynamics of activity of different coenotic (eco coenotic) groups in the undisturbed forest and in the burnt area in 2011-2019.

Выводы

1. Лесные пожары в пихтовых лесах приводят к полной гибели древостоев и запускают восстановительную пирогенную сукцессию, которая в данных условиях проходит со сменой пород на вторичные мелколиственные.

2. В первые годы после пожара коэффициент сходства флористического состава фитоценоза гари и ненарушенного леса не превышает 0.5; также меняется спектр ЭЦГ, во все годы доминирует группа Вг (таежное мелкотравье). При этом на гари встречаются виды растений, не отмеченные в коренном лесу, а обилие отдельных редких видов увеличивается.

3. Структура растительного сообщества гари упрощается: уменьшается число ярусов и их сомкнутость / проективное покрытие. В течение 5 лет после прохождения пожара травяно-кустарничковый ярус восстанавливает общее проективное покрытие, характерное для фонового ненарушенного леса; кустарники резко увеличивают сомкнутость за счет малины, а древесный ярус в виде подроста и моховой ярус лишь начинают свое восстановление.

4. Однократное пожарное нарушение темнохвойного леса при относительно небольшой площади гари не вызывает необратимой деградации фитоценоза. Таежные экосистемы сохраняют потенциал восстановления, достаточный для успешного прохождения сукцессии.

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллективу Байкальского заповедника за содействие в организации полевых работ.

Финансирование. Работа Н.С. Гамовой в МГУ им. Ломоносова (подготовка статьи) выполнена в рамках НИР № 121032500090-7 «Таксономическое разнообразие региональных флор России и сопредельных государств. Научная обработка коллекций Гербария МГУ как основа изучения региональных флор»; полевые исследования Н.С. Гамовой проведены в рамках государственного задания Байкальского заповедника по теме «Летопись природы»; анализ полученных данных был проведен Т.С. Кошовским в рамках госбюджетной темы «Антропогенная геохимическая трансформация компонентов ландшафта» (номер ЦИТИС 121051400083-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- | | |
|--|---|
| <p>1. Алексеев И.В., Гамова Н.С. 2015. Влияние лесных пожаров на свойства почв таежных ландшафтов хребта Хамар-Дабан // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. Барнаул. Т. 1. С. 171-174.</p> <p>2. Аксенов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю., Егоров А.В., Исаев А.С., Карпачевский М.Л., Лестадиус Л.Г., Потанов П.В., Пуреховский А.Ж., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. 2003. Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: МСоЭС; Вашингтон: World Resources Inst. 187 с.</p> <p>3. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР</p> | <p>1. Alekseenko IV, Gamova NS. Influence of forest fires on the properties of soils in taiga landscapes of the Khamar-Daban ridge [<i>Vliyaniye lesnykh pozharov na svoystva pochv tayezhnykh landshaftov khrebta Khamar-Daban</i>] <i>Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology [Biogeochemiya tekhnogeneza i sovremennyye problemy geokhimicheskoy ekologii. Barnaul]</i>. Barnaul, 2015;1:171-174.</p> <p>2. Aksenov DE, Dobrynin DV, Dubinin MYu, Egorov AV, Isaev AS, Karpachevsky ML, Laestadius LG, Potapov PV, Purekhovskiy AZh, Turubanova SA, Yaroshenko AYu. Atlas of Intact Forest Territories in Russia [<i>Atlas malonarushennykh lesnykh territoriy Rossii</i>]. Moscow: MSoES; Washington: World</p> |
|--|---|

- и Читинская область). 1967 / ред. В.Б. Сочава. М.-Иркутск: ГУГК. 176 с.
4. Белозерцева И.А. 2016. Особенности почвенного покрова северо-восточного склона хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11. С. 1077-1080.
 5. Валендик Э.Н., Иванова Г.А. 2001. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока // Лесоведение. № 4. С. 69-79.
 6. Волокитина А.В., Софронов М.А. 2011. Запас хвои подроста как горючего материала в лесах Красноярского Приангарья // Хвойные бореальной зоны. № 28 (1/2). С. 60-63.
 7. Воскресенский С.С. 1962. Геоморфология Сибири. М.: Изд-во МГУ. 352 с.
 8. Воскресенский С.С., Трошкина Е.С. 1971. Геоморфология и лавины хребта Хамар-Дабан. // Известия АН СССР. Серия «География». № 4. С. 100-105.
 9. Гамова Н.С. 2017а. Изменение флористического состава гарей Байкальского заповедника на ранних стадиях пирогенных сукцессий // Природа Байкальской Сибири: труды заповедников и национальных парков Байкальской Сибири. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. Т. 2. С. 93-101.
 10. Гамова Н.С. 2017б. Лесные пожары в Байкальском заповеднике // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Природные резерваты – гарант будущего». Улан-Удэ: Издательство БНЦ СО РАН. С. 81-83.
 11. Гамова Н.С. 2014. Пирогенные смены лесной растительности центральной части Хамар-Дабана (Южное Прибайкалье) // Проблемы Resources Inst., 2003:187.
 3. Atlas of Transbaikalia (Buryat ASSR and Chita region) [*Atlas Zabaykal'ya (Buryatskaya ASSR i Chitinskaya oblast')*] / ed. V.B. Sochava. Moscow-Irkutsk: GUGK, 1967:176.
 4. Belozertseva IA. Features of the soil cover of the northeastern slope of the Khamar-Daban ridge (Southern Baikal region) [*Osobennosti pochvennogo pokrova severo-vostochnogo sklona khrebta Khamar-Daban (Yuzhnoye Pribaykal'ye)*] *International Journal of Applied and Fundamental Research [Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy]*. 2016;11:1077-1080.
 5. Valendik EN, Ivanova GA. Fire regimes in the forests of Siberia and the Far East [*Pozharnyye rezhimy v lesakh Sibiri i Dal'nego Vostoka*] *Forest Management [Lesovedenie]*. 2001;4:69-79.
 6. Volokitina AV, Sofronov MA. Reserve of undergrowth needles as a combustible material in the forests of the Krasnoyarsk Angara region [*Zapas khvoi podrosta kak goryuchego materiala v lesakh Krasnoyarskogo Priangar'ya*] *Coniferous Trees of the Boreal Zone [Khvoynyye boreal'noy zony]*. 2011;28 (1/2):60-63.
 7. Voskresensky SS. Geomorphology of Siberia [*Geomorfologiya Sibiri*]. Moscow: MGU, 1962:352.
 8. Voskresensky SS, Troshkina ES. Geomorphology and avalanches of the Khamar-Daban ridge [*Geomorfologiya i laviny khrebta Khamar-Daban*] *News of the Academy of Sciences of the USSR [Izvestiya AN SSSR] Geographical Series [Seriya "Geografiya"]*. 1971;4:100-105.
 9. Gamova NS. Changes in the floristic composition of the burned areas of the Baikal Reserve at the early stages of pyrogenic successions [*Izmeneniye floristicheskogo sostava garey Baykal'skogo zapovednika na rannikh stadiyakh pirogennykh suktsessiy*] *Nature of Baikal Siberia [Priroda Baykal'skoy Sibiri] Proc. of Reserves and National Parks of Baikal Siberia [Trudy zapovednikov i natsional'nykh parkov Baykal'skoy Sibiri]*. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2017a;2:93-101.
 10. Gamova NS. Forest fires in the Baikal Reserve

- ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XIII международной научно-практической конференции, 20-23 октября 2014 г. Барнаул. С. 55-59.
12. Геологическая карта. Масштаб 1:1000000. 1972 / Сост. Н.Б. Бардаханов, В.Н. Гурьянова, А.Л. Додин, В.К. Маньковский, В.А. Новиков. Ленинград: Аэрогеология. Лист М(47)48. 1 л.
 13. Горшков С.П. 1982. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра. 286 с.
 14. Евдокименко М.Д. 2011. Лесоэкологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья // Экология. № 3. С. 191-196.
 15. Епова Н.А. 1956. Реликты широколиственных лесов в пихтовой тайге Хамар-Дабана // Известия биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете им. А.А. Жданова. Иркутск: Изд-во ИГУ. Т. 16. Вып. 1-4. С. 25-61.
 16. Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В. 2000. Современные представления о структуре и динамике растительного покрова как основа для разработки методов сохранения видового разнообразия // Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России. М.: Научный мир. С. 9-14.
 17. Зоны и типы поясности растительности России: карта. Масштаб 1:8000000. 1999 / Ред. Огуреева Г.Н. М.: Экор. 1 л.
 18. Иванов В.А., Иванова Г.А. 2010. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука. 164 с.
 19. Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Тишков А.А. 1986. Зональные закономерности динамики [Lesnyye pozhary v Baykal'skom zapovednike] Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Natural Reserves, the Guarantor of the Future" [Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Prirodnyye rezervaty – garant budushchego"]. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2017b:81-83.
 11. Gamova NS. Pyrogenic changes in forest vegetation in the central part of Khamar-Daban (Southern Baikal region) [Pirogennyye smeny lesnoy rastitel'nosti tsentral'noy chasti Khamar-Dabana (Yuzhnoye Pribaykal'ye)] Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: collection of scientific articles based on the materials of the XIII International Scientific and Practical Conference, October 20-23, 2014, Barnaul [Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sbornik nauchnykh statey po materialam XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]. 2014:55-59.
 12. Geological map, Scale 1:1000000 [Geologicheskaya karta] / eds. N.B. Bardakhanov, V.N. Guryanova, A.L. Dodin, V.K. Mankovsky, V.A. Novikov. Leningrad: Aerogeologiya, 1972:M(47)48.
 13. Gorshkov SP. Exodynamic processes of developed territories [Ekzodinamicheskiye protsessy osvoyennykh territoriy]. Moscow: Nedra, 1982:286.
 14. Evdokimenko MD. Forest-ecological consequences of fires in the light coniferous forests of Transbaikalia [Lesoekologicheskiye posledstviya pozharov v svetlokhvoynykh lesakh Zabaykal'ya] Ecology. 2011;3:191-196.
 15. Epova NA. Relics of broad-leaved forests in the fir taiga of Khamar-Daban [Relikty shirokolistvennykh lesov v pikhtovoy tayge Khamar-Dabana] Proc. of the Biological and Geographical Research Institute of A.A. Zhdanov's Irkutsk State University [Izvestiya biologo-geograficheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta pri Irkutskom gosudarstvennom universitete im. A.A. Zhdanova]. Irkutsk: IGU, 1956;16 (1-4):25-61.
 16. Zaugolnova LB, Smirnova OV. Modern ideas about the structure and dynamics of the

- экосистем. М.: Наука. 148 с.
20. *Исмаилова Д.М.* 2007. Динамика фитоценотической структуры черневых лесов низкогорий Западного Саяна: дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 161 с.
 21. *Картушин В.М.* 1969. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири (пояснительный текст к серии агроклиматических карт Иркутской, Читинской областей и Бурятской АССР). Иркутск: ВСКНИ. 100 с.
 22. *Комарова Т.А.* 1986. Семенное возобновление растений на свежих гаях (леса Южного Сихотэ-Алиня). Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 224 с.
 23. *Кошовский Т.С., Геннадиев А.Н., Гамова Н.С., Фаронова Е.А., Язрикова Т.С.* 2022. Послепожарное состояние таежных почв хребта Хамар-Дабан (Прибайкалье) // Почвоведение. № 9. С. 1098-1111. [*Koshovskii T.S., Gennadiev A.N., Gamova N.S., Faronova E.A., Yazrikova T.E.* 2022. Post-Fire State of Taiga Soils and Vegetation of the Khamar-Daban Range (Cisbaikalia) // Eurasian Soil Science. Vol. 55. No. 9. P. 1196-1208.]
 24. Красная книга Республики Бурятия: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2013. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 688 с.
 25. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008. М.: Товарищество научных изданий КМК. 885 с.
 26. *Краснощеков Ю.Н.* 2007. Высотно-поясные особенности эрозионных процессов в лесных экосистемах бассейна Байкала // География и Природные Ресурсы. № 4. С. 42-48.
 27. *Краснощеков Ю.Н.* 2004. Почвозащитная роль горных лесов vegetation cover as a basis for the development of methods for the conservation of species diversity [*Sovremennyye predstavleniya o strukture i dinamike rastitel'nogo pokrova kak osnova dlya razrabotki metodov sokhraneniya vidovogo raznoobraziya*] Assessment and conservation of forest cover biodiversity in the reserves of European Russia [*Otsenka i sokhraneniye bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh Yevropeyskoy Rossii*]. Moscow: Nauchnyy mir, 2000:9-14.
 17. Zones and types of zonality of vegetation in Russia, a map, Scale 1:8000000 [*Zony i tipy poynosti rastitel'nosti Rossii, karta*] / ed. Ogureeva G.N. Moscow: Ekor, 1999:1.
 18. *Ivanov VA, Ivanova GA.* Fires from thunderstorms in the forests of Siberia [*Pozhary ot groz v lesakh Sibiri*]. Novosibirsk: Nauka, 2010:164.
 19. *Isakov YuA, Kazanskaya NS, Tishkov AA.* Zonal patterns of ecosystem dynamics [*Zonal'nyye zakonomernosti dinamiki ekosistem*]. Moscow: Nauka. 1986:148.
 20. *Ismailova DM.* Dynamics of the phytocoenotic structure of the black forests of the low mountains of the Western Sayan [*Dinamika fitotsenoticheskoy struktury chernevykh lesov nizkogoriy Zapadnogo Sayana*] Thesis in the Biological Sciences PhD [*Diss. ... kand. biol. nauk*]. Krasnoyarsk: Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2007:161.
 21. *Kartushin VM.* Agro-climatic resources of the south of Eastern Siberia (explanatory text for a series of agro-climatic maps of the Irkutsk, Chita regions and the Buryat ASSR) [*Agroklimaticheskiye resursy yuga Vostochnoy Sibiri (poyasnitel'nyy tekst k serii agroklimaticheskikh kart Irkutskoy, Chitinskoy oblastey i Buryatskoy ASSR)*]. Irkutsk: VSKnI, 1969:100.
 22. *Komarova TA.* Seed regeneration of plants on fresh burnt areas (forests of Southern Sikhote-Alin) [*Semennoye vozobnovleniye rasteniy na svezhikh garyakh (lesa Yuzhnogo Sikhote-Alinya)*]. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1986:224.
 23. *Koshovskii TS, Gennadiev AN, Gamova NS, Faronova EA, Yazrikova TE.* Post-Fire State of Taiga Soils and Vegetation of the Khamar-

- бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 224 с.
28. Краснощеков Ю.Н. 2018. Почвы горных лесов Прибайкалья и их транс-формация под влиянием пожаров // Почвоведение. № 4. С. 387-401. [*Krasnoshchekov Yu.N. 2018. Soils of Mountainous Forests and Their Transformation under the Impact of Fires in Baikal Region // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 4. P. 371-384.*]
 29. Краснощеков Ю.Н., Евдокименко М.Д., Чередникова Ю.С., Болонева М.В. 2010. Послепожарное функциони-рование лесных экосистем в Восточ-ном Прибайкалье // Сибирский экологический журнал. Т. 17. № 2. С. 221-230.
 30. Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С. 2012. Постпирогенная трансфор-мация почв кедровых лесов в Южном Прибайкалье // Почвоведение. № 10. С. 1057-1067. [*Krasnoshchekov Yu.N., Cherednikova Yu.S. 2012. Postpyrogenic transformation of soils under *Pinus sibirica* forests in the southern Lake Baikal basin // Eurasian Soil Science. Vol. 45. No. 10. P. 929-938.*]
 31. Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С. 2022. Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск: СО РАН. 164 с.
 32. Ладейщиков Н.П., Филиппов А.Н., Зедгендзе Е.П., Оболкин В.А., Резникова С.А. 1977. Осадки и режим увлажнения // Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Новосибирск: Наука. С. 98-125.
 33. Макунина А.А. 1985. Физическая география СССР. М.: Изд-во МГУ. 294 с.
 34. Малиновских А.А. 2014. Анализ активности видов ценофлоры гарей в приобских борах юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного
 - Daban Range (Cisbaikalia). *Eurasian Soil Science*. 2022;55 (9):1196-1208.
 24. Red Data Book of the Republic of Buryatia: Rare and endangered species of animals, plants and fungi [*Krasnaya kniga Respubliki Buryatiya: redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zivotnykh, rasteniy i gribov*]. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2013:688.
 25. Red Data Book of the Russian Federation: plants and fungi [*Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii: rasteniya i griby*]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:885.
 26. Krasnoshchekov YuN. Altitudinal-belt features of erosion processes in forest ecosystems of the Baikal basin [Vysotno-poyasnyye osobennosti erozionnykh protsessov v lesnykh ekosistemakh basseyna Baykala] *Geography and Natural Resources [Geografiya i Prirodnyye Resursy]*. 2007;4:42-48.
 27. Krasnoshchekov YuN. Soil protection role of mountain forests in the Baikal basin [*Pochvozashchitnaya rol' gornyykh lesov basseyna ozera Baykal*]. Novosibirsk: SO RAN, 2004:224.
 28. Krasnoshchekov YuN. Soils of Mountainous Forests and Their Transformation under the Impact of Fires in Baikal Region. *Eurasian Soil Science*. 2018;51 (4):371-384.
 29. Krasnoshchekov YuN, Evdokimenko MD, Cherednikova YuS, Boloneva MV. Post-fire functioning of forest ecosystems in the Eastern Baikal region [Poslepozharnoye funktsionirovaniye lesnykh ekosistem v Vostochnom Pribaykal'ye] *Siberian Ecological Journal*. 2010;17 (2):221-230.
 30. Krasnoshchekov YuN, Cherednikova YuS. Postpyrogenic transformation of soils under *Pinus sibirica* forests in the southern Lake Baikal basin. *Eurasian Soil Science*. 2012;45 (10):929-938.
 31. Krasnoshchekov YuN, Cherednikova YuS. Post-pyrogenic variability of forest soils in the mountainous Baikal region [*Postpirogennaya izmenchivost' lesnykh pochv v gornom Pribaykal'ye*]. Novosibirsk: SO RAN, 2022:164.
 32. Ladeyshchikov NP, Filippov AN,

- университета. № 11. С. 82-87.
35. *Малиновских А.А.* 2017. Динамика показателей обилия видов на гари 2006 г. в северо-восточной части Барнаульского ленточного бора // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 11 (157). С. 79-84.
 36. *Мальшев Л.И.* 1973. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Ботанический журнал. Т. 58. № 11. С. 1581-1588.
 37. *Мелехов И.С.* 1947. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ. 58 с.
 38. Методы изучения лесных обществ. 2002 / Ред. В.Т. Ярмишко, И.Н. Лянгузова СПб.: НИИХимии СПбГУ. 240 с.
 39. *Моложников В.Н.* 2014. Растительность Прибайкалья. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing. 612 с.
 40. Мониторинг сообществ на гаях и управление пожарами в заповедниках. 2002 / Ред. Л.В. Кулешова. М.: ВНИИ природы. 276 с.
 41. *Назимова Д.И.* 1975. Горные темнохвойные леса Западного Саяна. Опыт эколого-ценотической классификации // Чтения памяти В.Н. Сукачева, 23 апреля 1973 г. Л.: Наука. 118с.
 42. *Нешатаев Ю.Н.* 1987. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ. 192 с.
 43. Проект организации и ведения заповедного хозяйства Байкальского Государственного Заповедника Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете министров РСФСР на 1980-2000 гг. 1981. Гомель. Т. 1. 225 с.
 44. Предбайкалье и Забайкалье. 1965. М.: Наука. 492 с.
 45. *Пешкова Г.А.* 1985. Растительность Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука. Zedgenidze EP, Obolkin VA, Reznikova SA. Precipitation and moistening regime [*Osadki i rezhim uvlazhneniya*] *Structure and climate resources of Baikal and adjacent spaces* [*Struktura i resursy klimata Baykala i sopredel'nykh prostranstv*]. Novosibirsk: Nauka, 1977:98-125.
 33. Makunina AA. Physical Geography of the USSR [*Fizicheskaya geografiya SSSR*]. Moscow: MGU, 1985:294.
 34. Malinovskikh AA. Analysis of the activity of cenoflora species of fires in the Ob river forests of the south of Western Siberia [*Analiz aktivnosti vidov tsenoflory garey v priobskikh borakh yuga Zapadnoy Sibiri*] *Bulletin of the Altai State Agrarian University* [*Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*]. 2014;11:82-87.
 35. Malinovskikh AA. Dynamics of species abundance indicators on the burnt area in 2006 in the north-eastern part of the Barnaul Ribbon Forest [*Dinamika pokazateley obiliya vidov na gari 2006 g. v severo-vostochnoy chasti Barnaul'skogo lentochnogo bora*] *Bulletin of the Altai State Agrarian University* [*Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*]. 2017;11 (157):79-84.
 36. Malyshev LI. Floristic zoning based on quantitative traits [*Floristicheskoye rayonirovaniye na osnove kolichestvennykh priznakov*] *Botanical Journal*. 1973;58 (11):1581-1588.
 37. Melekhov IS. Nature of the forest and forest fires [*Priroda lesa i lesnyye pozhary*]. Arkhangelsk: OGIZ, 1947:58.
 38. Methods of studying forest societies [*Metody izucheniya lesnykh obshchestv*] / eds. V.T. Yarmishko, I.N. Lyanguzova. Saint-Petersburg: NIIXimii SPbGU, 2002:240.
 39. Molozhnikov VN. Vegetation of the Baikal region [*Rastitel'nost' Pribykal'ya*]. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2014:612.
 40. Community monitoring in burnt areas and fire management in reserves [*Monitoring soobshchestv na garyakh i upravleniye pozharami v zapovednikakh*] / ed. L.V. Kuleshova. Moscow: VNIIPrirody, 2002:276.

- 135 с.
46. Серегин А.П. 2023. Национальный банк-депозитарий живых систем. Цифровой гербарий МГУ. [Электронный ресурс <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения 24.02.2023)].
 47. Сизых А.П., Гриценюк А.П., Шеховцов А.И., Воронин В.И. 2019. Структура и тенденции формирования лесов юго-восточного побережья озера Байкал // География и природные ресурсы. № 5. С. 33-37.
 48. Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. 2006. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Евро-пейской России на основе эколого-гических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюллетень МОИП. Серия «Биология». Т. 111. № 2. С. 36-47.
 49. Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. 2008. Пожары и пирогенные сукцессии в лесах Южного Прибайкалья // Сибирский экологический журнал. Т. 15. № 3. С. 381-388.
 50. Софронова Т.М. 2005. О прогнозировании пожарной опасности в лесах Хамар-Дабана // Труды Тигирекского заповедника. Красноярск. С. 153-154.
 51. Тюлина Л.Н. 1976. Влажный прибайкальский тип поясности растительности. Новосибирск: Наука. 320 с.
 52. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Балсанова Л.Д. 2012. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. № 2. С. 45-52.
 53. Хутакова С.В., Алтаев А.А. 2020. Разнообразие почв лесов хр. Хамар-Дабан (на примере УНПК
 41. Nazimova DI. Mountain dark coniferous forests of the Western Sayan [*Gornyye temnokhvoynnye lesa Zapadnogo Sayana*] *Experience of eco-cenotic classification [Opyt ekologo-tsenoticheskoy klassifikatsii] Readings in memory of V.N. Sukachev, April 23, 1973 [Chteniya pamyati V.N. Sukacheva].* Leningrad: Nauka, 1975:118.
 42. Neshataev YuN. Methods for the analysis of geobotanical materials [*Metody analiza geobotanicheskikh materialov*]. Leningrad: LGU, 1987:192.
 43. Project for the organization and management of the reserve economy of the Baikal State Reserve of the Main Directorate of Hunting and Nature Reserves under the Council of Ministers of the RSFSR for 1980-2000 [*Proyekt organizatsii i vedeniya zapovednogo khozyaystva Baykal'skogo Gosudarstvennogo Zapovednika Glavnogo upravleniya okhotnich'yego khozyaystva i zapovednikov pri Sovete ministrov RSFSR na 1980-2000 gg.*]. Gomel, 1981;1:225.
 44. Baikalia and Transbaikalia [*Predbaykal'ye i Zabaykal'ye*]. Moscow: Nauka, 1965:492.
 45. Peshkova GA. Vegetation of Siberia (Baikalia and Transbaikalia) [*Rastitel'nost' Sibiri (Predbaykal'ye i Zabaykal'ye)*]. Novosibirsk: Nauka, 1985:135.
 46. Seregin AP. National Depository Bank of Living Systems [*Natsional'nyy bank-depozitariy zhivykh sistem*] *Digital herbarium of Moscow State University [Tsifrovoy gerbariy MGU]*. 2023, Available at <https://plant.depo.msu.ru/> (Date of Access 24/02/2023).
 47. Sizykh AP, Gritsenyuk AP, Shekhovtsov AI, Voronin VI. Structure and trends in the formation of forests on the southeastern coast of Lake Baikal [*Struktura i tendentsii formirovaniya lesov yugo-vostochnogo poberezh'ya ozera Baykal*] *Geography and Natural Resources*. 2019;5:33-37.
 48. Smirnov VE, Khanina LG, Bobrovsky MV. Substantiation of the system of ecological-coenotic groups of plant species in the forest zone of European Russia based on ecological scales, geobotanical descriptions and statistical analysis [*Obosnovaniye sistemy ekologo-*

- «Оронгой») // Инновационное Развитие Науки и Техники: сборник статей VI Между-народной научно-практической кон-ференции. С. 42-46.
54. Шикалова Е.А. 2019. Темпы послепожарного восстановления попу-ляций редких видов сосудистых рас-тений на территории Саяно-Шушен-ского заповедника // Научные иссле-дования в заповедниках и националь-ных парках Южной Сибири. Вып. 9. С. 89-91.
55. ЦЭПЛ. 2023. Эколо-го-ценотические группы видов. Шкалы ЦЭПЛ. [Электронный ресурс www.cepl.rssi.ru/bio/flora/ecoscale.htm (дата обращения 24.02.2023)].
56. Certini G. 2014. Fire as a Soil-forming Factor // *Ambio*. Vol. 43. No. 2. P. 191-195.
57. Chuvieco E., Giglio L., Justice C. 2008. Global Characterization of Fire Activity: Toward Defining Fire Regimes from Earth Observation Data // *Global Change Biology*. Vol. 14. No. 7. P. 1488-1502.
58. Delarze R., Caldelari D., Hainard P. 1992. Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland // *Journal of Vegetation Science*. Vol. 3. No. 1. P. 55-60.
59. Effects of Fire on Soil and Water. 2005 // *Wildland Fire in Ecosystems*. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Vol. 42. 250 p.
60. Girardin M.P., Ali A.A., Hely C. 2010. Wildfires in Boreal Ecosystems: Past, Present and Some Emerging Trends // *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 19. No. 8. P. 991-995.
61. Pausas J.G., Keeley J.E. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life // *BioScience*. Vol. 59. No. 7. P. 593-601.
62. Potapov P., Zhuravleva I., Yaroshenko A. 2021. Intact Forest Landscapes. *tсенотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа* [Bulletin of the MOIP. Biological Series [Seriya "Biologiya"]. 2006;111 (2):36-47.
49. Sofronov MA, Volokitina AV, Sofronova TM. Fires and pyrogenic successions in the forests of the Southern Baikal region [Pozhary i pirogenyye suksessii v lesakh Yuzhnogo Pribaykal'ya] *Siberian Ecological Journal*. 2008;15 (3):381-388.
50. Sofronova TM. On forecasting fire danger in the forests of Khamar-Daban [O prognozirovanii pozharной опасности v lesakh Khamar-Dabana] *Proc. of the Tigirek Reserve [Trudy Tigirekского заповедника]*. Krasnoyarsk, 2005:153-154.
51. Tyulina LN. Humid Pribaikalsky type of vegetation zonality [Vlazhnyy pribaykal'skiy tip poynasnosti rastitel'nosti]. Novosibirsk: Nauka, 1976:320.
52. Ubugunov LL, Ubugunova VI, Badmaev NB, Gyninova AB, Ubugunov VL, Balsanova LD. Soils of Buryatia: diversity, systematics and classification [Pochvy Buryatii: raznoobraziye, sistematika i klassifikatsiya] *Bulletin of V.R. Filippov's Buryat State Agricultural Academy [Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova]*. 2012;2:45-52.
53. Khutakova SV, Altaev AA. Diversity of soils in forests Khamar-Daban (on the example of UNPK "Orongoy") [Raznoobraziye pochv lesov khr. Khamar-Daban (na primere UNPK «Orongoy»)] *Innovative Development of Science and Technology: collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference [Innovatsionnoye Razvitiye Nauki i Tekhniki: sbornik statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. 2020:42-46.
54. Shikalova EA. Rates of post-fire recovery of populations of rare species of vascular plants on the territory of the Sayano-Shushensky Reserve [Tempy poslepozharного vosstanovleniya populyatsiy redkikh vidov sosudistykh rasteniy na territorii Sayano-Shushenskogo заповедника] *Scientific research in reserves*

- [Электронный ресурс <http://intactforests.org/world.webmap.html> (дата обращения 24.02.2023)].
63. Plants of the World Online. 2023. [Электронный ресурс <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (дата обращения 24.02.2023)].
64. Thomaz E.L., Antoneli V., Doerr S.H. 2014. Effects of Fire on the Physicochemical Properties of Soil in a Slash-and-Burn Agriculture // *Catena*. Vol. 122. P. 209-215.
65. UNESCO World Heritage Convention. 2022. [Электронный ресурс <http://whc.unesco.org/> (дата обращения 24.02.2023)].
- and national parks of South Siberia [nyye issledovaniya v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Yuzhnoy Sibiri]. 2019;9:89-91.
55. CEPL [TSEPL] *Ecological-cenotic groups of species [Ekologo-tsenoticheskiye gruppy vidov] CEPL scales [Shkaly TSEPL]*. 2023, Available at www.cepl.rssi.ru/bio/flora/ecoscale.htm (Date of Access 24/02/2023).
56. Certini G. Fire as a Soil-forming Factor. *Ambio*. 2014;43 (2):191-195.
57. Chuvieco E, Giglio L, Justice C. Global Characterization of Fire Activity: Toward Defining Fire Regimes from Earth Observation Data. *Global Change Biology*. 2008;14 (7):1488-1502.
58. Delarze R, Caldelari D, Hainard P. Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland. *Journal of Vegetation Science*. 1992;3 (1):55-60.
59. Effects of Fire on Soil and Water. *Wildland Fire in Ecosystems*. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005;42:250.
60. Girardin MP, Ali AA, Hely C. Wildfires in Boreal Ecosystems: Past, Present and Some Emerging Trends. *International Journal of Wildland Fire*. 2010;19 (8):991-995.
61. Pausas JG, Keeley JE. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*. 2009;59 (7):593-601.
62. Potapov P, Zhuravleva I, Yaroshenko A. Intact Forest Landscapes. 2021, Available at <http://intactforests.org/world.webmap.html> (Date of Access 24/02/2023).
63. Plants of the World Online. 2023, Available at <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (Date of Access 24/02/2023).
64. Thomaz EL, Antoneli V, Doerr SH. Effects of Fire on the Physicochemical Properties of Soil in a Slash-and-Burn Agriculture. *Catena*. 2014;122:209-215.
65. UNESCO World Heritage Convention. 2022, Available at <http://whc.unesco.org/> (Date of Access 24/02/2023).

UDC 581.555.3

**EARLY STAGES OF A LONG-TERM POST-FIRE VEGETATION CHANGES
IN SIBERIAN FIR FORESTS OF SOUTHERN BAIKAL REGION
(BAIKAL NATURE RESERVE)**

© 2023. N.S. Gamova^{* **}, E.A. Faronova^{*}, Yu.N. Korotkov^{**}, T.S. Koshovskii^{*}, T.E. Yazrikova^{*}

**M.V. Lomonosov Moscow State University,*

1, Leninskie Gory, Moscow, 119992, Russia. E-mail: bg_natagamova@mail.ru

***Baikal State Nature Biosphere Reserve*

34, Krasnogvardeyskaya st., Tankhoy, Republic of Buryatia, 671220, Russia

Received April 03, 2022. Revised May 31, 2023. Accepted Juni 01, 2023.

In this article we analyzed the early stages of long-term post-fire vegetation change in a burnt area of a Siberian fir forest. The study area is typical for the middle altitudes of the northern slope of Khamar-Daban Ridge; the wild fire was of a natural origin. We registered the post-fire changes in the floral composition and in the structure of the forest plant community. As a result of the fire, the structure of forest layers simplified, and the total number of species, as well as the species diversity of coenotic (eco-coenotic) groups of species decreased in the first years after the fire. We compared a post-fire forest plant community with an undisturbed one, and evaluated the participation of rare and Red Data Book plant species in the burnt area.

We established that wild fires in fir forests lead first to the complete death of a tree stand, and then to the restorative vegetation change, which, in our case, caused a change of conifer tree species to secondary small-leaved deciduous species. In the first years after the fire, the similarity coefficient of the floristic composition between the plant community of the burnt area and of the undisturbed forest did not exceed 0.5. The ranges of eco-coenotic groups of species also changed, making the Br group (taiga small herbs) dominant in all years. At the same time, some plant species of the burnt area were not recorded in the undisturbed forest, while the abundance of some rare plant species increased. The structure of the plant community in the burnt area became simpler as the number of layers, and their closeness / projective cover reduced. Within 5 years after the fire, the herb-dwarf shrub layer restored the general projective cover to the values typical for the undisturbed forest; projective cover of raspberry increased sharply; and the tree layer, formed with new growth, and the moss layer finally began to recover.

It is concluded that a single case of wild fire in a dark coniferous forest with a relatively small area of the burnt area does not cause irreversible degradation of the forest plant community. Taiga ecosystems retain the potential for restoration sufficient for a further proper and successful vegetation change.

Keywords: Khamar-Daban ridge, forest fires, Siberian fir forests, post-fire vegetation changes, rare plant species, coenotic (eco-coenotic) groups.

Acknowledgements. The authors are grateful to the staff of the Baikalsky Reserve for with the field work.

Funding. The preparation of this article for the Moscow State University was carried out by N.S. Gamova for the research project No. 121032500090-7 “Plant Biodiversity of Russia and Adjacent Countries. Scientific Approach to Processing of Collections of the Herbarium of Moscow State University as a Basis for the Study of Regional Floras”; and her field work was carried out for the Baikalsky Reserve on the topic “Chronicles of Nature”; the data was analyzed by T.S. Koshovsky as part of the state task “Anthropogenic and Geochemical Transformation of the Landscape Components”, No. 121051400083-1 of the Center for Information Technologies and Systems of Executive Authorities.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-88-112

EDN: GTFDBJ

UDC 581.555.3

**EARLY STAGES OF A LONG-TERM POST-FIRE VEGETATION CHANGES
IN SIBERIAN FIR FORESTS OF SOUTHERN BAIKAL REGION
(BAIKAL NATURE RESERVE)**

© 2023. N.S. Gamova^{* **}, E.A. Faronova^{*}, Yu.N. Korotkov^{**}, T.S. Koshovskii^{*},
T.E. Yazrikova^{*}

**M.V. Lomonosov Moscow State University*

1, Leninskie Gory, Moscow, 119992, Russia. E-mail: bg_natagamova@mail.ru

***Baikal State Nature Biosphere Reserve*

34, Krasnogvardeyskaya Str., Tankhoy, Republic of Buryatia, 671220, Russia

Received April 03, 2023. Revised May 31, 2023. Accepted June 01, 2023.

In this article we analyzed the early stages of long-term post-fire vegetation change in a burnt area of a Siberian fir forest. The study area is typical for the middle altitudes of the northern slope of Khamar-Daban Ridge; the wild fire was of a natural origin. We registered the post-fire changes in the floral composition and in the structure of the forest plant community. As a result of the fire, the structure of forest layers simplified, and the total number of species, as well as the species diversity of coenotic (eco-coenotic) groups of species decreased in the first years after the fire. We compared a post-fire forest plant community with an undisturbed one, and evaluated the participation of rare and Red Data Book plant species in the burnt area.

We established that wild fires in fir forests lead first to the complete death of a tree stand, and then to the restorative vegetation change, which, in our case, caused a change of conifer tree species to secondary small-leaved deciduous species. In the first years after the fire, the similarity coefficient of the floristic composition between the plant community of the burnt area and of the undisturbed forest did not exceed 0.5. The ranges of eco-coenotic groups of species also changed, making the Br group (taiga small herbs) dominant in all years. At the same time, some plant species of the burnt area were not recorded in the undisturbed forest, while the abundance of some rare plant species increased. The structure of the plant community in the burnt area became simpler as the number of layers, and their closeness / projective cover reduced. Within 5 years after the fire, the herb-dwarf shrub layer restored the general projective cover to the values typical for the undisturbed forest; projective cover of raspberry increased sharply; and the tree layer, formed with new growth, and the moss layer finally began to recover.

It is concluded that a single case of wild fire in a dark coniferous forest with a relatively small area of the burnt area does not cause irreversible degradation of the forest plant community. Taiga ecosystems retain the potential for restoration sufficient for a further proper and successful vegetation change.

Keywords: Khamar-Daban ridge, forest fires, Siberian fir forests, post-fire vegetation changes, rare plant species, coenotic (eco-coenotic) groups.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-113-136

EDN: HAPPNQ

Wild fires are the most important factor to form the forests, because they are the main cause of natural vegetation changes in taiga ecosystems (Isakov et al., 1986; Volokitina, Sofronov, 2011). They significantly transform the vegetation and soil cover, exposing the surface of the soil and substrate on the slopes, which can severely worsen soil erosion (Gorshkov, 1982). Wild fires can be both of natural and anthropogenic origin, but an indirect human impact has certainly increased their frequency and prevalence in recent years (Chuvieco et al., 2008; Pausas, Keeley, 2009; Girardin et al., 2010).

The Baikal Reserve is located in the southern Baikal Region, occupying the central part of the Khamar-Daban mountain range. Most of its area is covered with undisturbed forests (Aksenov et al., 2003; Potapov et al., 2021). This reserve is part of the UNESCO World Natural Heritage Site “Lake Baikal” and belongs to the central ecological zone of Lake Baikal (UNESCO ..., 2022). It's affected by the natural forest fires, which is common for other mountainous regions of southern Siberia as well (Valendik, Ivanova, 2001; Ivanov, Ivanova, 2010). Most of the fires there, albeit not happening every year, are caused by lightning bolts during the thunderstorms (Gamova, 2017b). An analysis of the actual fire frequency of the Southern Baikal forests (Sofronov et al., 2008) showed the lowest rate for the territory of the Baikal Reserve comparing with other sites in this region. Indigenous dark coniferous forests of the northern slope of the Khamar-Daban Ridge are vulnerable to fires due to Siberian pine and Siberian fir being extremely sensitive to such damage both during crown fires and creeping fires (that affect trunks, including its very base).

After being disturbed by fires, forests undergo a natural regeneration, i.e. a long-term post-fire vegetation change (Melekhov, 1947), the total duration and direction of which, as well as the rates and stages of it, depend on many factors; for example, on the original type of forest and altitudinal location of the plant community, or on the degree of damage caused to the forest, as well as on the steepness of the slope, and the moisture level of the biotope. For the Baikal Region the most common stages of vegetation change are as follows: 0-1 year – black burnt area with no herb cover, 1 to 3-5 years – herb stage, up to 20-25 years – shrubs and small tree new growth with no crowns closure, up to 40 years – young coniferous forest or secondary small-leaved forest, up to 60 years – medium-aged coniferous or small-leaved forest with coniferous undergrowth, up to 80-100 years – maturing coniferous or small-leaved-coniferous forest, over 100-120 years – mature coniferous forest, possibly with some deciduous species (Gamova, 2014, 2017a). 120-150 years after the fire, if no other disturbances took place, plant communities reach the state of conditionally original type of forest. In the course of post-fire vegetation change, the floristic composition and structure of plant communities change; the soil cover undergoes significant transformation as well (Certini, 2014). The most important consequences are the change in such chemical, physical, and physicochemical soils properties as the content and composition of organic matter, pH, content and availability of biogenic elements, and accelerated soil erosion (Krasnoshechekov, 2004, 2007, 2018; Effects of Fire ..., 2005; Thomaz et al., 2014).

The study of post-fire regeneration of forests growing in natural conditions of almost undisturbed territories is extremely important for understanding the features of natural long-term post-fire vegetation change and for predicting the dynamics of plant communities disturbed by wild fires.

Materials and Methods

Physical and geographical description of the study object. The southern part of Eastern Siberia is characterized by a severely continental climate of the temperate zone (Makunina, 1985); however, the northern slope of the Khamar-Daban Ridge belongs to the temperate continental climate due to the thermal effect of Lake Baikal. The ridge is part of the Khamar-Daban mountainous-bald peak-taiga climatic province (Kartushin, 1969). The climate of its northern slope in the central part is relatively mild for Southern Siberia: the mean annual temperatures vary from -0.3°C at the Tankhoy Meteorological Station (460 m ASL) to -3.4°C at the Khamar-Daban Meteorological Station (1420 m ASL); the mean January temperatures are -17°C and -17.9°C, while the mean July temperatures are 14°C and 12.7°C, respectively. It is shown that the annual precipitation at the studied altitudes is about 1100 mm, with its maximum in July. The depth of the snow cover is about 1.5-2 m. Both the annual precipitation and the snow cover in this part of the

Khamar-Daban Ridge are the maximal in the Baikal Region (Ladeyshchikov et al., 1977).

It is important to note that due to the long and warm autumn that is typical for this territory, as well as to the abundant precipitation and deep snow cover, the soils of the northern slope often do not freeze through in winter (Baikalia and Transbaikalia, 1965). The snow cover usually continues to melt until late spring (i.e. late May – early June), which reduces the risk of fires during the relatively rainless period of April-May (Kartushin, 1969).

The middle mountains of the Khamar-Daban Ridge in its central part are characterized by a highly dissected relief (Voskresensky, 1962; Voskresensky, Troshkina, 1971). The density of the river network is 0.28 km per 1 km² when taking into account all rivers over 10 km long, but it is much higher when taking into account numerous streams of shorter length (Project ..., 1981). This helps to maintain the overall humidity of the territory at a significant level, working as a natural barrier to stop the fires from spreading.

Soils of mountain slopes are formed on a thin talus made of granites, gabbro and Permian monzonites of Bichurian Complex (Geological Map, 1972). The soil cover along the peaks of the ranges is dominated by coarse-humus podzols and podburs, alternating with podzolized and ferruginous lithozems, while the cover of the lower zone has soddy podburs and burozems (Ubugunov et al., 2012; Belozertseva, 2016; Krasnoshchekov, 2018; Khutakova, Altaev, 2020).

According to “Zones and Types of Zonality of Vegetation in Russia” (1999), the territory of the Khamar-Daban Ridge belongs to the Boreal class (the Khamar-Daban geographical variant of the East Sayan type of the Tuva-South Transbaikal zonality group). The mid-mountain taiga zone stretches along the windward slopes and spurs of the ridge from 500 to 1000-1200 m ASL up to 1400-1500 m in the remote valleys of large rivers far away from Baikal Lake (Molozhnikov, 2014). More than 70% of the territory of Baikal Reserve is covered with forests. Due to the high share of never freezing soils and the abundant precipitation, dark coniferous species predominate on the northern slope (Peshkova, 1985), with some nemoral relict plant species that have survived there since the Tertiary period (Epova, 1956) thanks to the peculiar temperature and water regimes of the local soils.

Forest fires in the central part of the Khamar-Daban Ridge mainly occur as a result of thunderstorms, including the dry ones. The average number of stormy days in June-August at the Khamar-Daban Meteorological Station is 16-19 (Atlas of Transbaikalia ..., 1967). However, based on the general physical and geographical conditions of the territory, it should be noted that there are not many prerequisites for the further spread of fires there. This is due to the dissected relief, density of the river net, total precipitation with a summer maximum, heavy snow cover, wide distribution of fern and tall herb types of forests, the ground cover of which is protected from drying out. Thus, only some thunderstorms cause fires. Of course, the risk may increase during the years with insufficient snow cover and subsequent early and dry spring (Valendik, Ivanova, 2001). The Khamar-Daban Ridge showed a high correlation between the seasonal number and total area of wild fires with the number of previous days without precipitation or with precipitation less than 3 mm. Additionally, the fire hazard in summer is increased by the temperature inversion up to +6-10°C that can be registered at 800-1100 m ASL, which contributes to the drying of forest litter (Sofronova, 2005).

Study area. We studied the northern slope of the Khamar-Daban Ridge in the Mishikhinskoye Forestry located in the Baikal Nature Reserve (Kabansky District, Republic of Buryatia). The burnt area is situated in the lower reaches of the Levaya Mishikha River, occupying the middle of the slope of the southeastern and eastern exposition along the left bank in the valley of the river and its unnamed left tributary (stream). The steepness of the slope varied from 15 to 30°, the overall height varied from 670 to 1000 m ASL. The burnt area was extended upward the slope, 250 m wide and 750 m long. The lightning bolt struck a protruding ridge that functions as a watershed where the valleys of the river and its tributary meet, which is typical for the mountains of Southern Siberia (Ivanov, Ivanova, 2010). The fire broke out during a thunderstorm on July 2, 2011 and lasted for

4 days, during which it has reached an area of 12.8 ha (10 ha by a creeping fire, 2.8 ha by a creeping fire + a crown fire). The location of the study site is shown in Figure 1.

The undisturbed vegetation of the territory was formed by the mature forest of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) with Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour), rowan undergrowth (*Sorbus sibirica* Hedl.) and sparse layer of bushes (*Lonicera pallasii* Ledeb., *Spiraea flexuosa* Fisch. ex Cambess.), with herb layer of *Arsenjevia baicalensis* (Turcz.) Starod. and grasses with miscellaneous herbs (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin., *Galium triflorum* Michx., *Melica nutans* L., *Milium effusum* L., *Thalictrum minus* L.) and ferns (*Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy), with taiga small herbs (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Trientalis europaea* L.). In some spots among the bushes there were red raspberry (*Rubus idaeus* L.) and elderberry (*Sambucus sibirica* Nakai), with bergenia (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch.) and bracken fern (*Pteridium pinetorum* C.N. Page & R.R. Mill) in the herb layer. Siberian fir forests with *Arsenjevia baicalensis* (Turcz.) Starod. are common for the middle mountains of the windward slopes of Khamar-Daban and Barguzin Ridges with their peculiar humid Baikal zone type of vegetation (Tyulina, 1976).

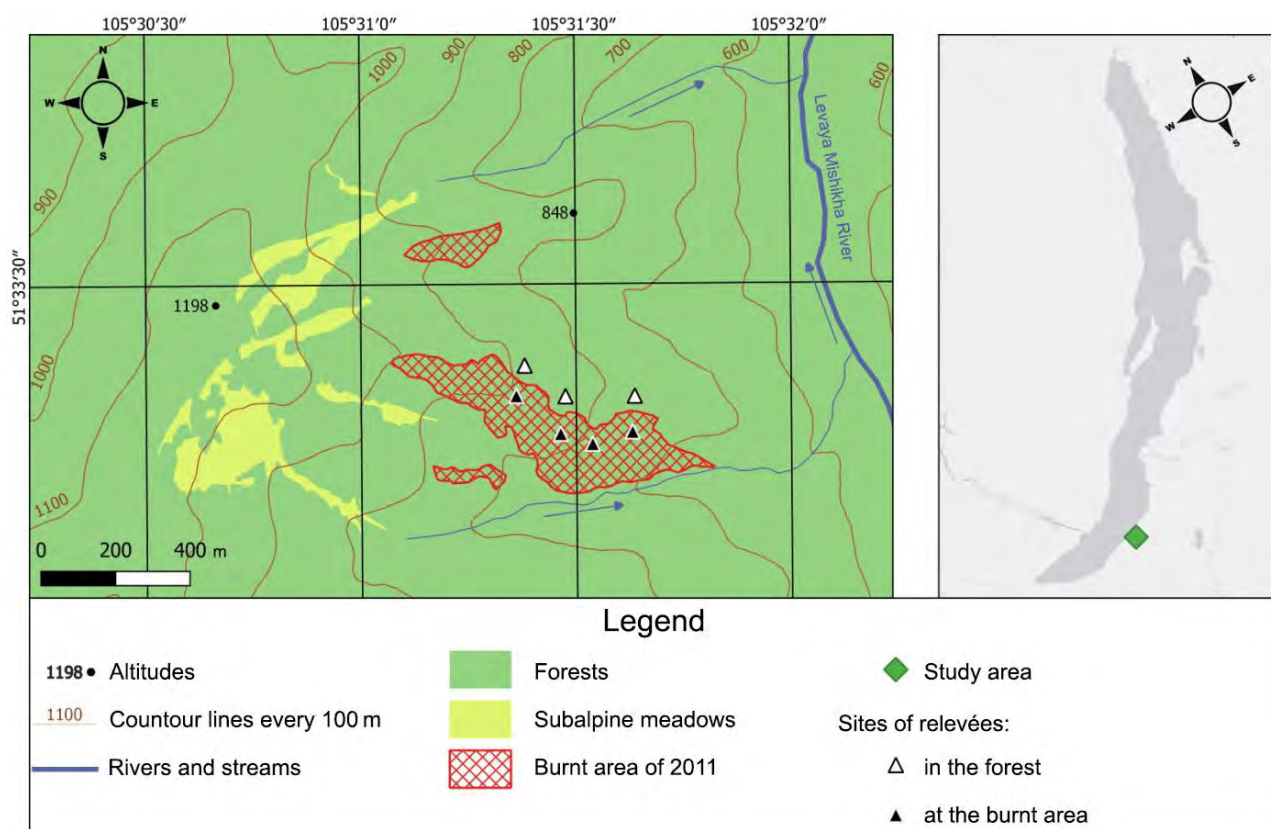


Fig. 1. Schematic map of the burnt area and the adjacent forest showing the sites of relevés.

The soil cover there was formed by variations of ferruginous burozems and ferruginous gray-humus lithozems close to bedrock outcrops. The organic horizons of the background soils were represented by litter and peaty litter O, the organomineral horizons – by the gray-humus AY and the transitional Ay/Bm and Bm/Ay. The middle horizon was the BMf structural-metamorphic horizon with signs of ferrugination. The soils had a poor depth of about 30 cm and a high skeletal structure; the granulometric composition of the upper horizons was light loamy and sandy loamy

(Koshovsky et al., 2022).

The relevées in the study area were carried out every year from 2011 to 2019 between the 3rd decade of June and the 1st decade of August on permanent key plots (10 x 10 m). Additionally, we selected reference plots for relevées in the adjacent undisturbed forest plant community according to the generally accepted methodology for conducting geobotanical studies of vegetation cover dynamics (Methods ..., 2002; Community monitoring ..., 2002). We had also collected herbarium specimens, which are stored in the Moscow University Herbarium (MW) and can be accessed online (Seregin, 2023).

To analyze the vegetation of the burnt area and the undisturbed forests, we calculated the coefficients of species' activity according to L.I. Malyshev's method (1973) and using the classic formula:

$$R = \sqrt{A \cdot B},$$

where A is the constancy of species (5 classes), and B is the species' abundance (10 classes). The coefficient values can vary from 0 to 7.1 (i.e. $\sqrt{50}$ for the 5th class of constancy combined with the 10th class of abundance). To provide an accurate assessment of the similarity degree of the floristic composition of the plant communities in the burnt area and the undisturbed forest, we used the Jaccard index (Kj), which is calculated using the following formula:

$$Kj = c / (a + b - c),$$

where a is the number of species in the 1st community, b is the number of species in the 2nd community, and c is the number of species found in both communities. The Jaccard index values can vary from 0 (total dissimilarity) to 1 (identical plant communities; Neshataev, 1987).

To assess the floristic diversity, we used the total species richness and the diversity of ecological and coenotic groups, or ECG (Smirnov et al., 2006), which are the groups of plant species that share ecological requirements and a certain plant community type (Zaugolnova, Smirnova, 2000). The ECG was determined according to the CEPL scales (2023) and the researches carried out in the mountains of Southern Siberia (Nazimova, 1975; Ismailova, 2007). The nomenclature of plant species is given according to the Plants of the World Online (2023).

Results and Discussion

After the fire, forest plant communities had undergone significant changes. A tree stand of Siberian pine and Siberian fir that are vulnerable to fire was completely destroyed in the studied area. Since 2013, burnt trunks began to fall out, and by 2016 almost all large Siberian pine trunks had disappeared. Among the dead fir stands, only some of the burnt trunks remained standing. By 2019, there were only single standing trunks of burnt Siberian fir trees in the area.

The new growth (the first Siberian pine seedlings) had been observed in the burnt area since 2012, and by 2013 there were 6 species: *Pinus sibirica*, *Abies sibirica*, *Betula platyphylla* Sukaczev and *B. pubescens* Ehrh., as well as *Salix caprea* L. and *Sorbus sibirica*. Since 2016, a single new growth of another indigenous dark coniferous species (*Picea obovata* Ledeb.) was found there as well. It is interesting to note that the presence of *S. caprea* in secondary post-fire forests (the presence of which was also noted in other parts of the burnt areas of the Baikal Reserve) makes the northern slope of the Khamar-Daban Ridge somewhat similar to the mountains of the Far East (Primorsky Krai), where this species is common in burnt areas, too (Komarova, 1986).

Among the tree species that were registered in the undisturbed forest, but did not grow in the burnt area until 2019, *Padus avium* Mill. can be noted. However, despite the diversity of the tree species in the burnt area, the tree new growth remained rare during all the years of our observations. By 2016, the maximum height of coniferous new growth barely reached 0.3-0.4 m, while the deciduous tree new growth was 0.5 m high. Moreover, hares (*Lepus timidus* L.) and Siberian roe

deer (*Capreolus pygargus* Pall.) started eating birch and willow new growth, biting off the upper parts of their shoots, a phenomenon that was observed in other burnt areas with small-leaved new growth, since those areas served as feeding stations for animals. Since the studied area is surrounded by undisturbed forests, which provide fairly favourable conditions for possible sources of seeds, then, apparently, the lack of mass renewal of tree species can be explained by the density of shrubs and herb layers that prevent the tree growth (Gamova, 2014, 2017a). In 2017-2019, the number of new growth was increasing along with the activity of birch new growth, which, apparently, will become the main tree species of this vegetation change, forming a secondary small-leaved forest stand due to their growth rate that significantly exceeds the growth rate of dark coniferous species. At the same time, the presence of Siberian pine and Siberian fir new growth at the early stages of the vegetation change indicates that conditionally indigenous plant communities could recover in this area much faster and more successfully compared to another scenario in which their post-fire new growth would appear only at the stage of the ripe birch forest.

Tree new growth was not numerous in the undisturbed forest as well. However, the main difference between new growth in burnt areas and undisturbed forests is its age distribution, varying in the primary forests and staying approximately the same in the post-fire plant communities, where it appears in the first years after the fire and eventually forms a secondary forest stand with all the trees of the same age that acts as the indicator of past fires many years after the fire accident (Krasnoshchekov et al., 2010).

The shrub layer of the burnt area is mostly formed by *Rubus idaeus* that first appeared there in 2012. There are also a few *Sambucus sibirica*, and sometimes *Spiraea flexuosa* Fisch. ex Cambess. and *Ribes nigrum* L. The total projective cover of the shrub layer is variable. For example, in 2013-2014, raspberries peaked there throughout the entire burnt area. In 2016, a big patch of fruiting raspberry shrubs still remained at the bottom of the burnt slope, while growing much sparser at its top. By 2019, raspberries were not that abundant anymore, signifying the next stage of vegetation change with the introduction of tree new growth. It is important to note that due to their fertility, the raspberry thickets in this area are used as a feeding station by the brown bears (*Ursus arctos* L.).

The herb layer in the burnt area turned out to be the most diverse. Its composition and the total number of species changed significantly in the first few years of the post-fire vegetation change. During the summer of 2011, only 4 species began to recover there: *Bergenia crassifolia*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium* and *Trientalis europaea* L. Simultaneously, in 2012, i.e. in the first growing season after the fire, there were already 25 species of the herb-dwarf shrub layer. Over the following years, typical dominant species were found in the grass stand of the post-fire plant community: *Calamagrostis langsdorffii*, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. and *Pteridium pinetorum*. In 2019, bracken and reed grass were among the dominants in the middle part of the burnt slope, while there were no obvious dominants in its upper part, however, *Calamagrostis langsdorffii*, *Chamaenerion angustifolium*, *Galium boreale* L., *Pteridium pinetorum* and *Rubus saxatilis* L. were present with approximately equal abundance. In the upper part of the burnt area, the projective cover of the herb-dwarf shrub layer was reduced to 70-75%, and the shrub layer was quite sparse. Herbaceous plants under a thick canopy of raspberry and bracken were mainly represented by taiga small herbs, such as *Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium*, *Phegopteris connectilis*, *Trientalis europaea*, *Viola selkirkii* Pursh ex Goldie, while *Anthoxanthum alpinum* Å. Löve & D. Löve, *Bergenia crassifolia*, *Galium boreale*, *G. triflorum* and *Melica nutans* were common in the areas with reed grass and in the areas with no obvious dominants.

The general state of plant communities of undisturbed forest and burnt areas during the post-fire vegetation change is shown in Figure 2.

The ground cover in the undisturbed forest was represented by small tussocks of green mosses (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.,

Dicranum spp.) and *Polytrichum commune* Hedw.; but no lichens were registered there. The total projective cover of mosses in the forest was about 5%. In the first few years after the fire, the moss cover was almost absent in the burnt area. Since 2013, *Dicranum* and *Polytrichum* tussocks begun to regrow there from individual plants that were preserved on elevations near the trunks which were destroyed by the fire. In the same period of 2012-2013, a liverwort (*Marchantia polymorpha* L.), which is a common species for the early stages of post-fire vegetation changes, provided most of the projective cover of the ground layer for the burnt area. In the following years, as the projective cover of grass stand and shrubs increased, the abundance of *M. polymorpha* decreased until 2016, since then this species almost disappeared. By 2019, we found no new moss species in the burnt area.



Fig. 2. Undisturbed Siberian fir forest (2.1), burnt area just after the wildfire: in 2011 (2.2), in 2013 (2.3), in 2015 (2.4), in 2017 (2.5), in 2019 (2.6).

An important indicator in the post-fire dynamics of plant communities is the total number of their species. The bar chart in Figure 3 shows the dynamics of species number in the burnt area for 2011-2019 and its comparison with the undisturbed forest.

Along with a natural but sharp decrease in the number of all species in the 1st year after the fire and a gradual increase in the number of tree and shrub species in the 2nd to 5th years, the dynamics of herbaceous plants is characterized by specific features. For example, a relative maximum of species (29 in total) was registered in 2013, but in 2014-2016 this number slowly decreased. This feature, a “burst” in the number of herbaceous plant species, is common for many burnt forests and is associated with the fact that the community structure does not fully develop at the early stages of post-fire vegetation change (Fig. 3). In 2018-2019, the number of herbaceous plant species grew again, possibly due to a gradual decrease in raspberries during the vegetation change (which, in its turn, reduced plants competition) and an increased availability of ecological niches/resources. It should be noted, however, that at its maximum of species in 2013, the number of herbaceous plants in the burnt area reached 67.4% (29 out of 43) of the species for the undisturbed forest.

Therefore, a complete restoration of the herb layer is not finished within the first decade after fire. It is noteworthy that there are species in the forest plant community that were not found in the burnt area (i.e. in 2011-2019, a total of 14 forest species were not found in the burnt area), as well as species in the burnt area that are not typical for the forest (9 species, for the same period). However, while such species as *Chamaenerion angustifolium* or the light-loving *Rubus saxatilis* that tends to grow in the margins are common for the post-fire communities, a couple of grasses, such as *Festuca altissima* All. and *Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv., turned to be more abundant and, therefore, well noticeable in the burnt areas due to, presumably, proper illumination that allows them to bear fruit annually. They can probably grow in the adjacent undisturbed forests as well, where they remain in a vegetative state due to the thicker shade and, therefore, are harder to identify among other grasses.

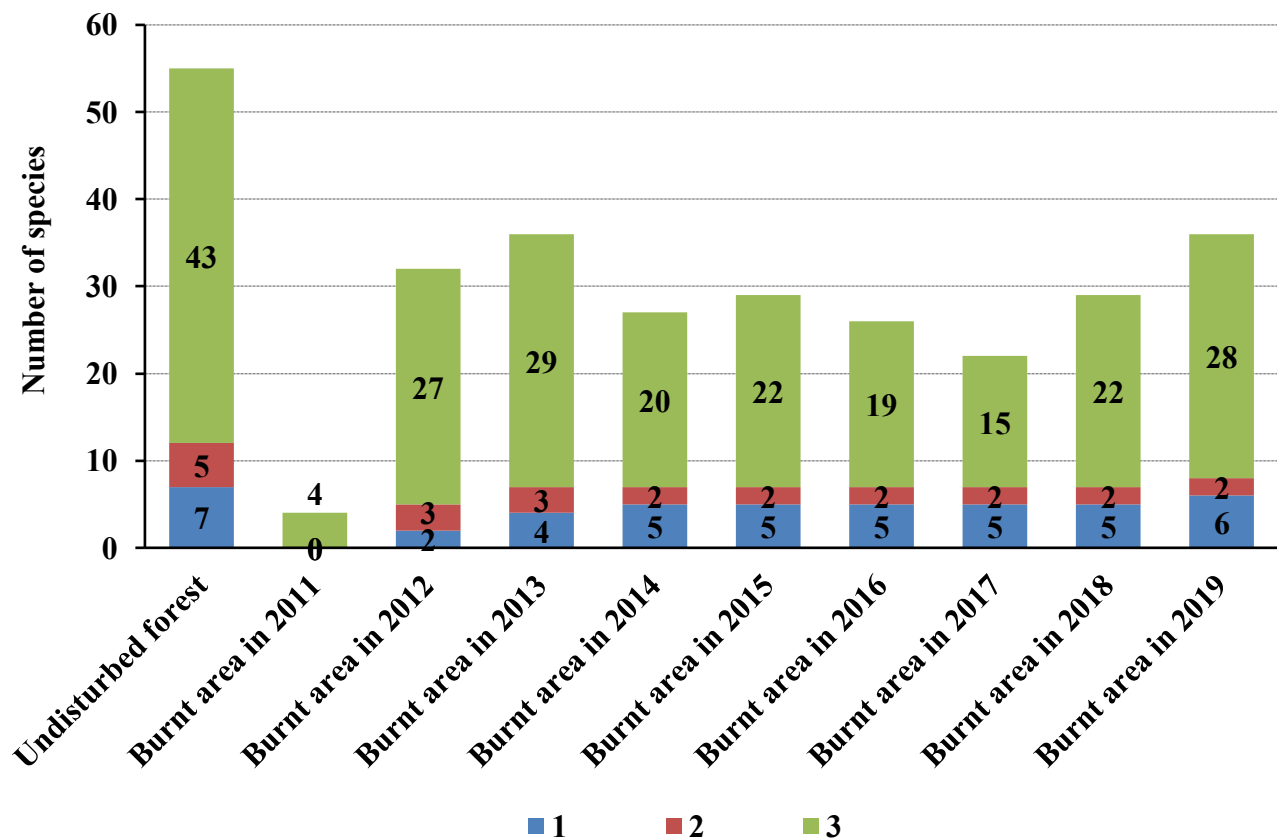


Fig. 3. Change in the number of species of trees (1), shrubs (2), herbaceous plants and dwarf shrubs (3) in 2011-2019.

It is also worth noting the rare and protected plants in the species richness of post-fire plant communities. In the lower part of the burnt area, 2 Red Data Books species, *Festuca altissima* and *Arsenjevia baicalensis*, were found (Red Data Book ..., 2008, 2013), apparently, successfully spreading due to the fire reducing the plants competition. They were much more abundant in the burnt area than in the undisturbed forest. A similar phenomenon was noted in other burnt areas in the middle mountains of the northern slope of the Khamar-Daban Ridge (Alekseenko, Gamova, 2015; Gamova, 2017a), and similar recovery rates of certain rare species were typical for the burnt areas of the Sayano-Shushenski Nature Reserve (Shikalova, 2019).

An important part in the study of the recovery dynamics of post-fire plant communities is the comparison of the floristic composition of the plant communities between the burnt area and the undisturbed forest. The Jaccard index (Kj) is one of the most common and widely used indices in various botanical studies. Its dynamic is shown in Figure 4.

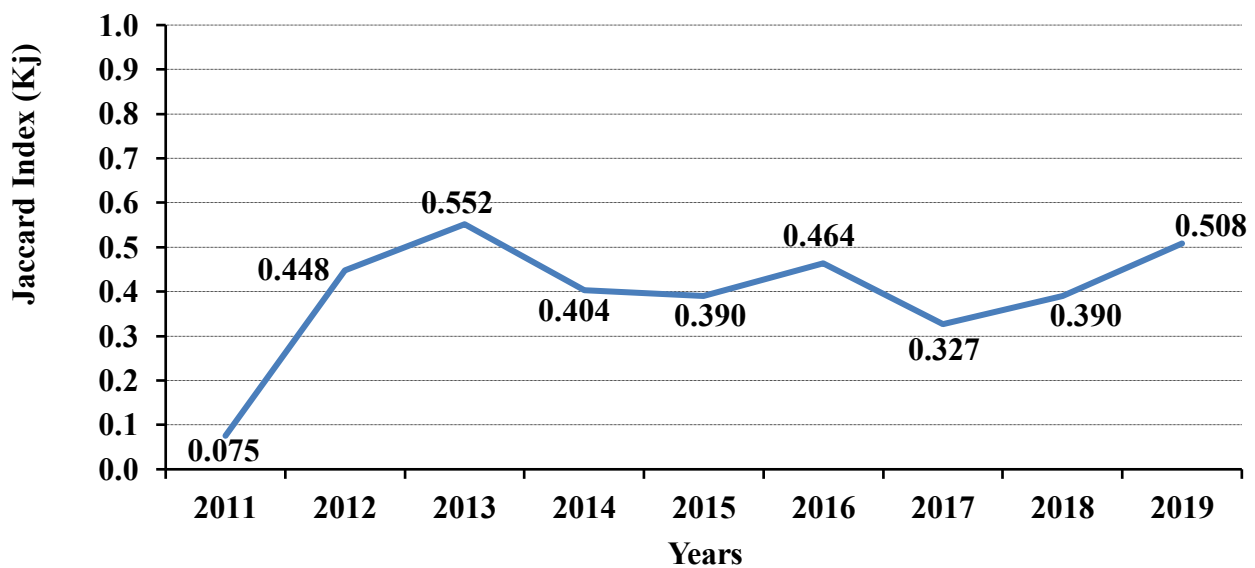


Fig. 4. The dynamics of similarity of the floral composition of burnt area and undisturbed forest in 2011-2019 (Jaccard Index).

Since the 2nd growing season after the fire, the Jaccard index value was about 0.5 and remained so for 8 years, occasionally fluctuating due to the variability of the species composition in the first years of post-fire vegetation change. Based on the experience of our study of the post-fire regeneration of Siberian fir forests of a similar group, it can be noted that Jaccard index value can increase and reach the value of 1 only at the late stages of the vegetation change, when the new growth of primary dark coniferous species gets mature and becomes part of the tree layer (Gamova, 2014, 2017a).

In addition to the general floristic diversity of post-fire plant communities, the distribution of plant species according to their ECG is significant as well. A number of groups was distinguished for the mountains of Southern Siberia and the Baikal Region; while the following ones were noted for our study area: Aa – arctic-alpine, Br – boreal (taiga small herbs), Md – meadow-forest and margin miscellaneous herbs and grasses, Nm – nemoral, Nt – nitrophilous, Pn – pine-forest, Rp – rupicolous, TH – taiga tall herbs and ferns, Wt – wetland (moisture-loving herbs, brook species). In the early stages of vegetation change, together with the dynamics of the general diversity of species, the ECG spectrum undergoes rapid changes from year to year (Fig. 5).

In the first years after the fire there is a rapid change and lasting variability in the species

composition of plant communities, as reflected in our diagrams. At the same time, for all years, we noticed a clear dominance of the Boreal group (Br), which also was dominant in the undisturbed forest. Aside from it, the Nemoral group (Nm) and Taiga tall herbs (TH) were quite abundant in the burnt area. The fact that they were present in the burnt area starting from the very first year after the fire indicates a moderate or relatively low degree and depth of pyrogenic soil disturbance that does not affect the underground plant organs, such as tubers and rhizomes. However, in the case of the TH group, many large ferns disappear for a long time after the fire in our study area and in many other similarly burnt areas: for example, *Dryopteris expansa*, because its rhizomes grow close to the soil surface, and therefore suffer from fire.

The most important difference between the ECG spectra of post-fire plant communities and undisturbed forests is the Nitrophilous group (Nt) growing on the burnt areas: e.g. willowherb, elderberry and raspberry, which actively form the post-fire plant communities in the first years of vegetation change, since the soil becomes enriched with nitrogen due to the ashes left by the fire. These species can be found in the primary forests as well, but are less numerous and usually grow only along the forest edges, in the clearings and other relatively open areas. It should be noted that in our case, the presence of the Meadow-forest (Md) species *Hieracium ganeschii* Zahn and the Arctic-alpine (Aa) species *Anthoxanthum alpinum* in the burnt area, which both grew in the adjacent forest, was not found continuously in every year of our study. Those are perennial plants, and therefore it is possible that they did not actually disappear from the post-fire plant community, but were severely oppressed while bracken, raspberry and reed grass were dominant and casted a thick shade on the bottom layers of the grass stand. We should also note the complete absence of representatives of ruderal groups in the burnt area and in the undisturbed community, which can be explained by the remoteness of the burnt area from anthropogenically transformed territories. In general, only in 2011, immediately after the fire, plant species only of 2 ECGs were found in the burnt area. Since 2012, this spectrum expanded greatly and was quite comparable to the spectrum of ECG of the undisturbed forest, which was a sign of a successful post-fire regeneration. In 2016-2019, the proportion of the Boreal group (Br) in the burnt area reached 50%, therefore corresponding to the values common for the undisturbed forest.

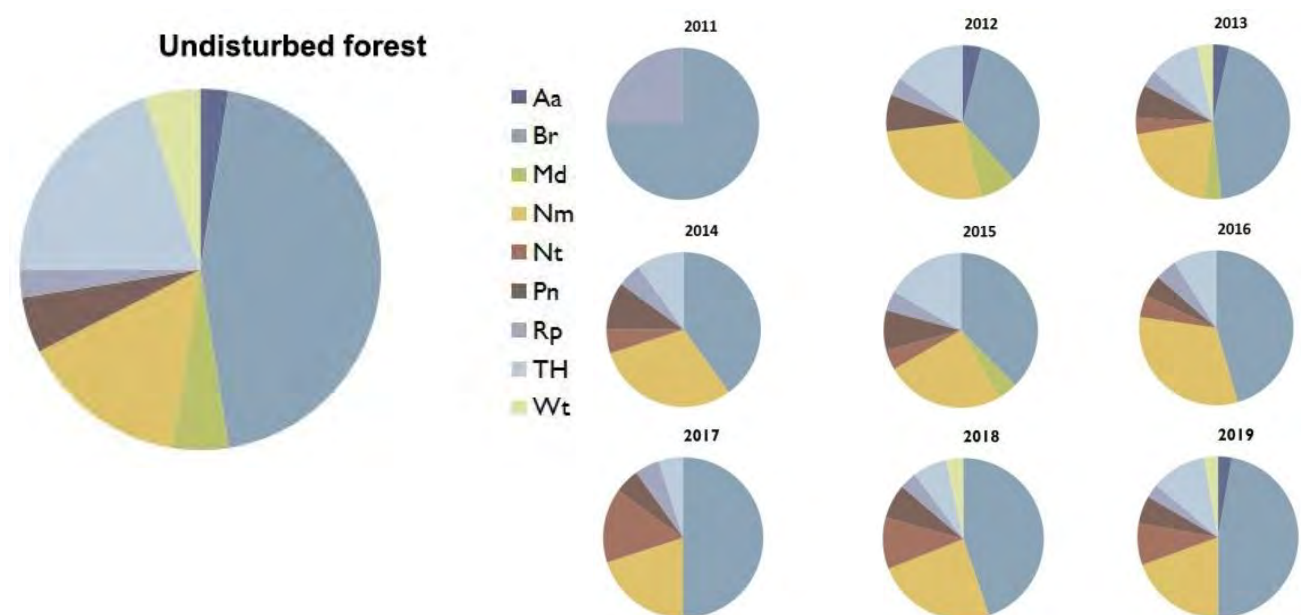


Fig. 5. Spectrums of coenotic (eco-coenotic) groups in the undisturbed forest and in the burnt area in 2011-2019.

The structure of the plant community in the first few years after the fire underwent the most significant changes, the main one being the disappearance of its tree layer, which takes at least 30-40 years to restore for the dark coniferous forests of the Baikal Region. At the same time, in the early stage of the post-fire vegetation change, a secondary small-leaved deciduous forest (in our case, birch forest) appeared. A similar situation was reported for the burnt areas along the southern coast of Lake Baikal (Sizykh et al., 2019). Changes in the total projective cover (TPC) were registered in other layers of the forest plant community as well (Fig. 6).

The TPC of the herb-dwarf shrub layer after the fire decreased from 50-95% in the undisturbed plant community to 0% immediately after the fire. However, its recovery was quite fast: 5% by the end of the 2011 growing season; 15-25% in 2012, 25-35% in 2013, 40-50% in 2014, and 70-100% in 2015. In 2016, in some plots within the burnt area, shrubs and tree new growth extruded herbaceous plants, creating local parcels where the TPC dropped to 40%, although there were some parcels where it reached almost 100%. Thus, 5 years after the fire, the TCP of the herb-dwarf shrub layer for the burnt area finally became equal to one typical for the undisturbed forest. In 2017-2019, there were slight fluctuations in the projective cover of the herb layer, but it remained within the limits close to the primary forest. The projective cover of the shrub layer in the burnt area significantly increased in the first few years after the fire due to a sharp growth of raspberries, which usually do not persist in the burnt areas for more than two decades in our region of Southern Siberia. In the study area, a gradual decrease in the projective cover of raspberries after its maximum in 2013-2015 was noticed. In total, in 2013-2019, the TPC of the herb-dwarf shrub layer together with TCP of shrub layer in the burnt area reached at least 80%. Knowing this value is important for assessing the risk of soil erosion, because sod-lost post-fire areas of steep slopes in the humid conditions of the middle mountains of the Khamar-Daban Ridge are subject to soil erosion, while the soil under the dense vegetation cover remains stable (Krasnoshchekov, Cherednikova, 2012, 2022). Therefore, the studied burnt area with the dense herb-dwarf shrub and shrub layers is not a subject to severe soil erosion.

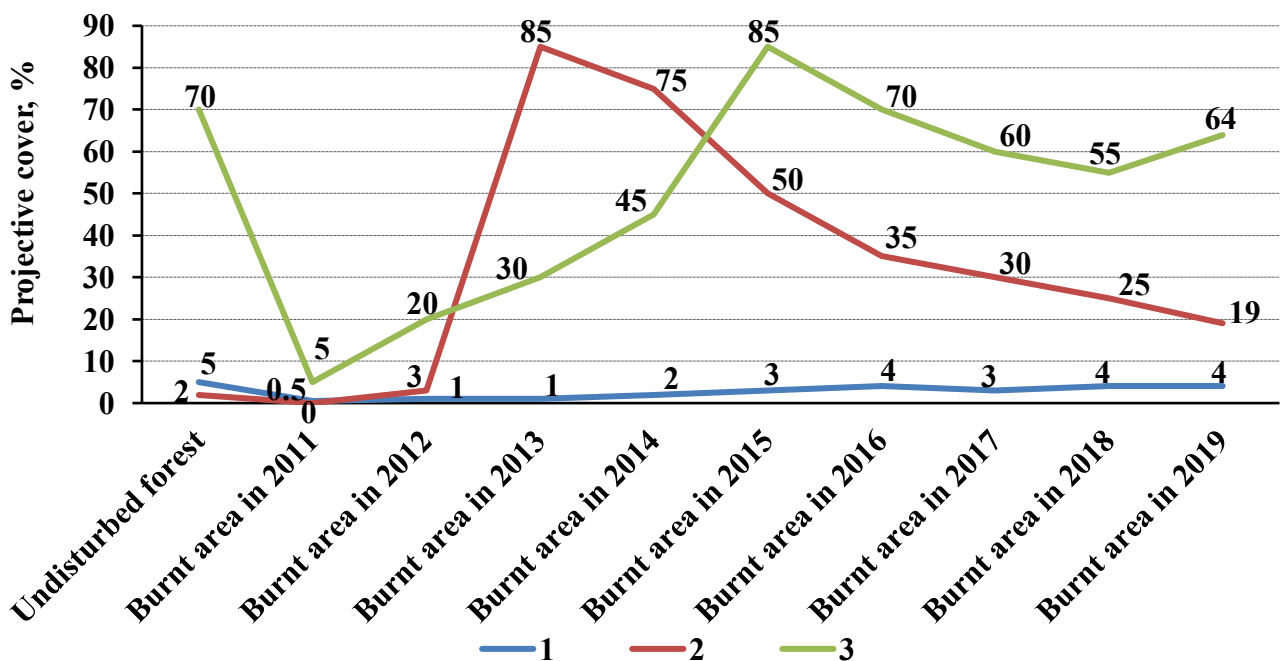


Fig. 6. Dynamics of the projective plant cover of forest new growth (1), shrubs (2) and herbaceous plants and dwarf shrubs (3) in 2011-2019.

One of the indicators of the species' participation in a plant community is species' activity, i.e. a derivative that takes into account the abundance of species on one sampling site and constancy of species presence on every relevée. The values of the activity coefficients of each species in tree new growth, shrub and herb-dwarf shrub layers are given in the Table below. As it indicates, the activities of the same species in the undisturbed forest and the burnt area are not equal. The activity of tree new growth in the burnt area increased due to a more favorable conditions of illumination, availability of mineral nutrition, and plant competition in an open area, compared to those in a tall undisturbed forest. However, shrubs showed two opposite trends. Such typical forest species as *Lonicera pallasii* and *Spiraea flexuosa*, common in the dark coniferous forests of the middle mountains of the northern slope of the Khamar-Daban Ridge, were observed in the burnt area only in 2012-2013. They were damaged by fire and have not recovered afterwards. Until 2019, their young growth was not observed in the burnt area.

Table. Species' activity in the burnt area and in the undisturbed forest.

ECG		Forest	Burnt area, years							
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Trees (under new growth, seedling)										
Br	<i>Abies sibirica</i>	3.0	–	1.7	2.6	2.8	1.4	3.2	2.6	2.8
Br	<i>Betula</i> (<i>pubescens</i> + <i>platyphylla</i>)	2.2	–	2.8	3.2	3.2	2.8	3.2	3.2	5.5
Br	<i>Picea obovata</i>	–	–	–	–	–	1.4	–	–	2.0
Br	<i>Pinus sibirica</i>	1.4	2.0	2.2	2.6	2.8	1.4	3.2	2.6	2.4
Br	<i>Salix caprea</i>	1.4	–	–	2.	3.2	1.4	–	2.6	3.2
Br	<i>Sorbus sibirica</i>	2.8	–	1.7	2.0	1.7	–	3.2	2.0	2.8
Shrubs										
Br	<i>Lonicera pallasii</i>	2.4	1.4	1.7	–	–	–	–	–	–
Nt	<i>Rubus idaeus</i>	4.2	2.0	7.1	7.1	6.3	6.3	5.5	6.3	4.5
Nt	<i>Sambucus sibirica</i>	1.4	2.2	2.8	3.2	3.2	2.4	2.2	3.2	4.5
Nm	<i>Spiraea flexuosa</i>	1.4	1.4	–	–	–	–	–	–	–
Dwarf shrubs and herbaceous plants										
TH	<i>Aconitum septentrionale</i>	2.4	1.4	2.2	2.0	–	1.4	–	2.0	1.4
Nm	<i>Anemone reflexa</i>	–	2.0	1.7	–	–	–	–	–	–
Aa	<i>Anthoxanthum alpinum</i>	1.7	1.4	1.7	–	–	–	–	–	1.4
Nm	<i>Arsenjevia baicalensis</i>	4.2	3.0	2.8	3.2	1.7	1.4	1.7	2.0	3.5
Rp	<i>Bergenia crassifolia</i>	1.7	2.0	2.2	2.6	2.8	2.8	2.8	2.0	2.8
Nm	<i>Brachypodium pinnatum</i>	–	–	–	–	–	–	–	2.0	1.4
TH	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	2.4	2.0	3.2	4.5	5.5	5.5	4.5	5.5	5.5
Br	<i>Calamagrostis obtusata</i>	1.7	1.4	1.7	–	–	1.4	–	2.6	2.4
Br	<i>Carex iljinii</i>	2.2	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Pn	<i>Carex macroura</i>	–	2.0	1.7	2.0	1.7	–	–	2.0	3.2
Nt	<i>Chamaenerion angustifolium</i>	–	–	3.2	3.2	3.2	2.0	1.7	2.0	3.2
Br	<i>Circaea alpina</i>	2.2	–	1.7	–	–	2.0	–	–	–
TH	<i>Cirsium helenioides</i>	1.4	1.4	1.7	–	1.7	–	–	–	–
Br	<i>Dryopteris expansa</i>	4.2	2.0	2.2	2.0	2.2	2.0	–	2.0	1.4

Continuation of the Table.

ECG		Forest	Burnt area, years							
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Wt	<i>Equisetum hyemale</i>	–	–	1.7	–	–	–	–	2.0	1.4
Nm	<i>Festuca altissima</i>	–	–	–	3.2	1.7	1.4	1.7	2.6	2.4
Br	<i>Galium boreale</i>	–	2.2	2.2	2.0	1.7	1.4	3.2	2.6	1.4
Nm	<i>Galium triflorum</i>	2.2	1.4	2.2	2.0	–	1.4	1.7	2.0	1.4
Br	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	4.5	2.6	2.8	2.0	–	2.0	2.2	2.0	2.8
Md	<i>Hieracium ganeschii</i>	1.4	1.4	1.7	–	2.2	–	–	–	–
Nm	<i>Lamium album ssp. orientale</i>	1.4	1.4	–	2.0	–	1.4	–	3.2	2.0
TH	<i>Lilium pilosiusculum</i>	–	1.4	–	–	1.7	–	–	–	1.4
Br	<i>Luzula pilosa</i>	2.2	–	2.8	2.0	–	–	–	2.6	2.4
Br	<i>Lycopodium annotinum</i>	1.7	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Maianthemum bifolium</i>	3.2	3.2	4.5	3.2	2.8	2.0	2.2	2.6	3.2
Nm	<i>Melica nutans</i>	2.4	2.0	3.2	2.6	2.2	2.0	3.2	3.2	2.8
Nm	<i>Milium effusum</i>	4.2	2.6	3.2	2.6	2.2	–	–	3.2	3.2
Br	<i>Oxalis acetosella</i>	2.8	1.4	1.7	–	–	1.4	–	–	1.4
Nm	<i>Paris obovata</i>	1.7	2.2	2.2	–	–	–	–	–	–
Br	<i>Phegopteris connectilis</i>	3	2.2	1.7	–	2.8	1.4	1.7	2.6	2.8
Pn	<i>Pteridium pinetorum</i>	2.2	2.2	1.7	3.7	5.5	2.8	4.0	4.5	4.9
Br	<i>Rubus saxatilis</i>	–	1.4	–	–	1.7	–	–	–	–
TH	<i>Senecio nemorensis</i>	1.4	–	–	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Solidago dahurica</i>	2.2	3.0	2.8	–	–	–	–	–	–
Br	<i>Trientalis europaea</i>	3.2	3.2	2.8	2.6	2.8	3.2	3.2	3.2	3.2
Br	<i>Vaccinium myrtillus</i>	2.4	1.4	1.7	–	–	–	–	–	1.4
Br	<i>Viola selkirkii</i>	2.2	–	2.2	2.6	1.7	2.0	1.7	–	–

Notes to Table: pink color marks the species with average activity, while dark pink marks the ones with the highest activity; the lowest values are unmarked.

At the same time, a pair of Md and Nt plant species, *Rubus idaeus* and *Sambucus sibirica*, were much more active in the post-fire community. In 2013 and 2014, the value of activity coefficient of raspberries reached its maximum of 7.1, which was never observed for any other species. The most active species in the herb-dwarf shrub layer in all years were *Calamagrostis langsdorffii* and *Pteridium pinetorum* (up to 5.5), while in the forest community their activity coefficient was twice as low. Additionally, the group of active species included *Chamaenerion angustifolium*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*, and *Arsenjevia baicalensis*. Some species were active only in undisturbed forests, while completely or temporarily absent in the burnt area in the first years after the fire: *Anemone reflexa*, *Anthoxanthum alpinum*, *Carex iljinii*, *Lycopodium annotinum* L., *Senecio nemorensis* L., *Solidago dahurica* Kitag., *Vaccinium myrtillus* L. They belong to different ECGs, but at the same time they are all light-demanding species. Their temporary absence from the burnt area could be explained by the thick shade cast by raspberry, bracken and reed grass that massively developed in the first years of the post-fire vegetation change. Therefore, in the future, a gradual increase in their activity can be expected. The most active species of the forest community were *Arsenjevia baicalensis*, *Dryopteris expansa*, *Gymnocarpium dryopteris* and *Milium effusum* (4.2-4.5). The last two were also found in the burnt area with an average activity

coefficient, while *D. expansa* did not grow there until 2019, but, apparently, its regeneration after the fire is possible at later stages of vegetation change. *Calamagrostis* and *Pteridium* species significantly participated in the plant community at the early stages of the long-term post-fire vegetation changes in various temperate regions, sometimes even oppressing other species; for example, this phenomenon was described for Western Siberia (Malinovskikh, 2014, 2017) and the mountainous regions of Switzerland (Delarze et al., 1992).

It is also worth noting the comparative activity of species of different ECGs. In Figure 7 we show the activity dynamics for 2011-2019 in the burnt area and the undisturbed forest.

At the early stages of the post-fire vegetation change, the Nitrophilous (*Chamaenerion angustifolium*, *Rubus idaeus*, *Sambucus sibirica*) and Pine-forest (*Pteridium pinetorum*) groups were the most active ones. The presence of the first one can be explained by an increased amount of available soil nitrogen in due to the fire, while the second one was influenced by the better illumination in the burnt area compared to the forest community. The activity of these two groups in the burnt area, as well as activity of species of the Taiga small herbs group, is comparable with the activity the same groups in the undisturbed forest. It is quite noticeable that in the burnt area, the activity of many ECGs changes significantly through years, with its overall range about 4.5. In the undisturbed forest, the activities of all ECGs are quite close to each other, ranging from 1.4 to 2.5. Such a significant difference in the species' activity between these two communities is caused, on the one hand, by the obvious difference between the conditions of the burnt area and the forest, and, on the other hand, by the formation of temporary parcels in the burnt area that replaced each other during the first years after the fire, when the community structure was still not formed.

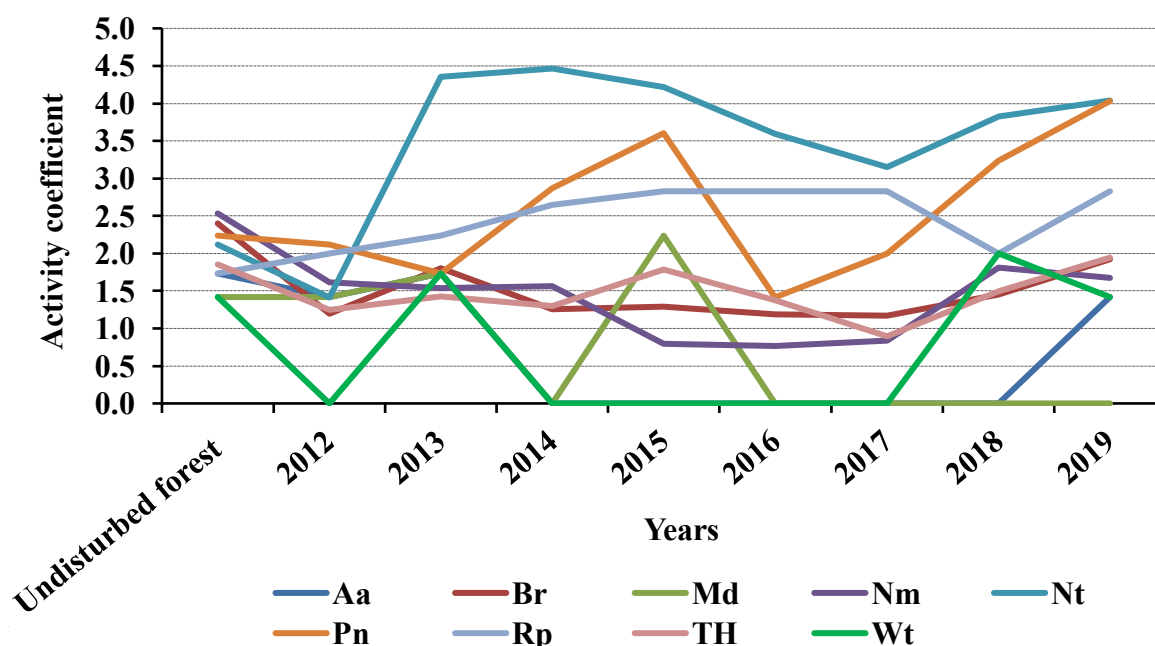


Fig. 7. Dynamics of activity of different coenotic (eco-coenotic) groups in the undisturbed forest and in the burnt area in 2011-2019.

Conclusions

This detailed study of the burnt area in the Siberian fir forest of the middle mountains of the northern slope of the Khamar-Daban Ridge is the first attempt to study the long-term post-fire dynamics of the forests of the Baikal Nature Reserve on permanent sample sites. A number of features that we noted in the early stages of the post-fire vegetation change have common features

with the trends in post-fire regeneration of dark coniferous forests that were previously shown for the Baikal Region. Additionally, the mild and humid climate, as well as the wide distribution of rare or relict plant species, determines the specific features of the vegetation of burnt areas and the general course of regeneration of forest plant communities. The data obtained during this research are a part of a long-term study of burnt areas of different ages and secondary post-fire forests of the Baikal Reserve where a network of permanent sample sites has been created.

1. Wild fires in Siberian fir forests cause a complete death of the tree stand and trigger a restorative post-fire vegetation change, which under specific local nature conditions develops with the temporal replacement in tree species from the primary dark coniferous to the secondary small-leaved deciduous ones.

2. In the first years after the fire, the similarity coefficient of floristic composition in the plant community of the burnt area and undisturbed forest does not exceed 0.5. The ECG spectrum also changes, with the Br group being dominant in all years. Moreover, there can be plant species in the burnt areas that are not found in the primary forest, and the abundance of some rare species can increase.

3. The structure of the plant community in the burnt area becomes simpler as the number of layers, and their density/projective cover decrease. Within 5 years after the fire, the herb-dwarf shrub layer restores the value of total projective cover, typical for the undisturbed forest; the shrubs density increases sharply due to raspberries, and the tree layer formed by the new growth as well as the moss layer just begin to recover.

4. A single fire disturbance in a dark coniferous forest with a relatively small burnt area does not cause an irreversible degradation of the forest plant community. Taiga ecosystems retain the potential for a future recovery that is sufficient for a proper and successful vegetation change.

Acknowledgements. The authors are grateful to the staff of the Baikal Nature Reserve for their help with the field work.

Funding. The preparation of this article for the Moscow State University was carried out by N.S. Gamova for the research project No. 121032500090-7 “Plant Biodiversity of Russia and Adjacent Countries. Scientific Approach to Processing of Collections of the Herbarium of Moscow State University as a Basis for the Study of Regional Floras”; and her field work was carried out for the Baikal Nature Reserve on the topic “Chronicles of Nature”; the data was analyzed by T.S. Koshovsky as part of the state task “Anthropogenic and Geochemical Transformation of the Landscape Components”, No. 121051400083-1 of the Center for Information Technologies and Systems of Executive Authorities.

REFERENCES

1. Alekseenko IV, Gamova NS. Influence of forest fires on the properties of soils in taiga landscapes of the Khamar-Daban ridge [*Vliyaniye lesnykh pozharov na svoystva pochv tayezhnykh landshaftov khrehta Khamar-Daban*] *Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology* [*Biogeokhimiya tekhnogeneza i sovremennyye problemy geokhimicheskoy ekologii. Barnaul*]. Barnaul, 2015;1:171-174.
2. Aksenov DE, Dobrynin DV, Dubinin MYu, Egorov AV, Isaev AS, Karpachevsky ML,

REFERENCES

1. *Алексеенко И.В., Гамова Н.С.* 2015. Влияние лесных пожаров на свойства почв таежных ландшафтов хребта Хамар-Дабан // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. Барнаул. Т. 1. С. 171-174.
2. *Аксенов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю., Егоров А.В., Исаев А.С., Карпачевский М.Л., Лестадиус Л.Г., Потапов П.В., Пуреховский А.Ж., Турубанова С.А.,*

- Laestadius LG, Potapov PV, Purekhovsky AZh, Turubanova SA, Yaroshenko AYu. Atlas of Intact Forest Territories in Russia [*Atlas malonarushennykh lesnykh territoriy Rossii*]. Moscow: MSoES; Washington: World Resources Inst., 2003:187.
3. Atlas of Transbaikalia (Buryat ASSR and Chita region) [*Atlas Zabaykal'ya (Buryatskaya ASSR i Chitinskaya oblast')*] / ed. V.B. Sochava. Moscow-Irkutsk: GUGK, 1967:176.
 4. Belozertseva IA. Features of the soil cover of the northeastern slope of the Khamar-Daban ridge (Southern Baikal region) [Osobennosti pochvennogo pokrova severo-vostochnogo sklona khrebta Khamar-Daban (Yuzhnoye Pribaykal'ye)] *International Journal of Applied and Fundamental Research [Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy]*. 2016;11:1077-1080.
 5. Valendik EN, Ivanova GA. Fire regimes in the forests of Siberia and the Far East [Pozharnyye rezhimy v lesakh Sibiri i Dal'nego Vostoka] *Forest Management [Lesovedenie]*. 2001;4:69-79.
 6. Volokitina AV, Sofronov MA. Reserve of undergrowth needles as a combustible material in the forests of the Krasnoyarsk Angara region [Zapas khvoi podrosta kak goryuchego materiala v lesakh Krasnoyarskogo Priangar'ya] *Coniferous Trees of the Boreal Zone [Khvoynyye boreal'noy zony]*. 2011;28 (1/2):60-63.
 7. Voskresensky SS. Geomorphology of Siberia [*Geomorfologiya Sibiri*]. Moscow: MGU, 1962:352.
 8. Voskresensky SS, Troshkina ES. Geomorphology and avalanches of the Khamar-Daban ridge [Geomorfologiya i laviny khrebta Khamar-Daban] *News of the Academy of Sciences of the USSR [Izvestiya AN SSSR] Geographical Series [Seriya "Geografiya"]*. 1971;4:100-105.
 9. Gamova NS. Changes in the floristic composition of the burnt areas of the Baikal Reserve at the early stages of pyrogenic successions [*Izmeneniye floristicheskogo sostava garey Baykal'skogo zapovednika na rannikh stadiyakh pirogennykh suksessiy*] *Nature of Baikal Siberia [Priroda Baykal'skoy Sibiri] Proc. of Reserves and National Parks of Baikal Siberia [Trudy zapovednikov i natsional'nykh parkov Baykal'skoy Sibiri]*. Ulan-Ude: BNTS SO
 - Ярошенко А.Ю. 2003. Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: МСоЭС; Вашингтон: World Resources Inst. 187 с.
 3. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). 1967 / ред. В.Б. Сочава. М.-Иркутск: ГУГК. 176 с.
 4. Белозерцева И.А. 2016. Особенности почвенного покрова северо-восточного склона хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11. С. 1077-1080.
 5. Валендик Э.Н., Иванова Г.А. 2001. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока // Лесоведение. № 4. С. 69-79.
 6. Волokitина А.В., Софронов М.А. 2011. Запас хвой подраста как горючего материала в лесах Красноярского Приангарья // Хвойные бореальной зоны. № 28 (1/2). С. 60-63.
 7. Воскресенский С.С. 1962. Геоморфология Сибири. М.: Изд-во МГУ. 352 с.
 8. Воскресенский С.С., Трошкина Е.С. 1971. Геоморфология и лавины хребта Хамар-Дабан. // Известия АН СССР. Серия «География». № 4. С. 100-105.
 9. Гамова Н.С. 2017а. Изменение флористического состава гарей Байкальского заповедника на ранних стадиях пирогенных сукцессий // Природа Байкальской Сибири: труды заповедников и национальных парков Байкальской Сибири. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. Т. 2. С. 93-101.
 10. Гамова Н.С. 2017б. Лесные пожары в Байкальском заповеднике // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Природные резерваты – гарант будущего». Улан-Удэ: Издательство

- RAN, 2017a;2:93-101.
10. Gamova NS. Forest fires in the Baikal Reserve [*Lesnyye pozhary v Baykal'skom zapovednike*] *Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Natural Reserves, the Guarantor of the Future" [Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Prirodnyye rezervaty – garant budushchego"]*. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2017b:81-83.
 11. Gamova NS. Pyrogenic changes in forest vegetation in the central part of Khamar-Daban (Southern Baikal region) [*Pirogennyye smeny lesnoy rastitel'nosti tsentral'noy chasti Khamar-Dabana (Yuzhnoye Priбайkal'ye)*] *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: collection of scientific articles based on the materials of the XIII International Scientific and Practical Conference, October 20-23, 2014, Barnaul [Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sbornik nauchnykh statey po materialam XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. 2014:55-59.
 12. Geological map, Scale 1:1000000 [*Geologicheskaya karta*] / eds. N.B. Bardakhanov, V.N. Guryanova, A.L. Dodin, V.K. Mankovsky, V.A. Novikov. Leningrad: Aerogeologiya, 1972:M(47)48.
 13. Gorshkov SP. Exodynamic processes of developed territories [*Ekzodinamicheskiye protsessy osvoyennykh territoriy*]. Moscow: Nedra, 1982:286.
 14. Epova NA. Relics of broad-leaved forests in the fir taiga of Khamar-Daban [*Relikty shirokolistvennykh lesov v pikhtovoy tayge Khamar-Dabana*] *Proc. of the Biological and Geographical Research Institute of A.A. Zhdanov's Irkutsk State University [Izvestiya biologo-geograficheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta pri Irkutskom gosudarstvennom universitete im. A.A. Zhdanova]*. Irkutsk: IGU, 1956;16 (1-4):25-61.
 15. Zaugolnova LB, Smirnova OV. Modern ideas about the structure and dynamics of the vegetation cover as a basis for the development of methods for the conservation of species diversity [*Sovremennyye predstavleniya o strukture i dinamike rastitel'nogo pokrova kak osnova dlya razrabotki metodov sokhraneniya vidovogo raznoobraziya*] *Assessment and* БНЦ СО РАН. С. 81-83.
 11. *Гамова Н.С.* 2014. Пирогенные смены лесной растительности центральной части Хамар-Дабана (Южное Прибайкалье) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XIII международной научно-практической конференции, 20-23 октября 2014 г. Барнаул. С. 55-59.
 12. Геологическая карта. Масштаб 1:1000000. 1972 / Сост. Н.Б. Бардаханов, В.Н. Гурьянова, А.Л. Додин, В.К. Маньковский, В.А. Новиков. Ленинград: Аэрогеология. Лист М(47)48. 1 л.
 13. *Горшков С.П.* 1982. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра. 286 с.
 14. *Епова Н.А.* 1956. Реликты широколиственных лесов в пихтовой тайге Хамар-Дабана // Известия биолого-географического научно-исследовательского института при Иркутском государственном университете им. А.А. Жданова. Иркутск: Изд-во ИГУ. Т. 16. Вып. 1-4. С. 25-61.
 15. *Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В.* 2000. Современные представления о структуре и динамике растительного покрова как основа для разработки методов сохранения видового разнообразия // Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России. М.: Научный мир. С. 9-14.
 16. Зоны и типы поясности растительности России: карта. Масштаб 1:8000000. 1999 / Ред. Огуреева Г.Н. М.: Экор. 1 л.
 17. *Иванов В.А., Иванова Г.А.* 2010. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука. 164 с.
 18. *Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Тишков А.А.* 1986. Зональные

- conservation of forest cover biodiversity in the reserves of European Russia [Otsenka i sokhraneniye bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh Yevropeyskoy Rossii]*. Moscow: Nauchnyy mir, 2000:9-14.
16. Zones and types of zonality of vegetation in Russia, a map, Scale 1:8000000 [*Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii, karta*] / ed. Ogureeva G.N. Moscow: Ekor, 1999:1.
 17. Ivanov VA, Ivanova GA. Fires from thunderstorms in the forests of Siberia [*Pozhary ot groz v lesakh Sibiri*]. Novosibirsk: Nauka, 2010:164.
 18. Isakov YuA, Kazanskaya NS, Tishkov AA. Zonal patterns of ecosystem dynamics [*Zonal'nyye zakonomernosti dinamiki ekosistem*]. Moscow: Nauka. 1986:148.
 19. Ismailova DM. Dynamics of the phytocoenotic structure of the black forests of the low mountains of the Western Sayan [*Dinamika fitotsenoticheskoy struktury chernykh lesov nizkogoriy Zapadnogo Sayana*] Thesis in the Biological Sciences PhD [Diss. ... kand. biol. nauk]. Krasnoyarsk: Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2007:161.
 20. Kartushin VM. Agro-climatic resources of the south of Eastern Siberia (explanatory text for a series of agro-climatic maps of the Irkutsk, Chita regions and the Buryat ASSR) [*Agroklimaticheskiye resursy yuga Vostochnoy Sibiri (poyasnitel'nyy tekst k serii agroklimaticheskikh kart Irkutskoy, Chitinskoy oblastey i Buryatskoy ASSR)*]. Irkutsk: VSKnI, 1969:100.
 21. Komarova TA. Seed regeneration of plants on fresh burnt areas (forests of Southern Sikhotealin) [*Semennoye vozobnovleniye rasteniy na svezhikh garyakh (lesa Yuzhnogo Sikhote-Alinya)*]. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1986:224.
 22. Koshovskii TS, Gennadiev AN, Gamova NS, Faronova EA, Yazrikova TE. Post-Fire State of Taiga Soils and Vegetation of the Khamar-Daban Range (Baikalia). *Eurasian Soil Science*. 2022;55 (9):1196-1208.
 23. Red Data Book of the Republic of Buryatia: Rare and endangered species of animals, plants and fungi [*Krasnaya kniga Respubliki Buryatiya: redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i* закономерности динамики экосистем. М.: Наука. 148 с.
 19. Исмаилова Д.М. 2007. Динамика фитоценотической структуры черневых лесов низкогорий Западного Саяна: дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 161 с.
 20. Картушин В.М. 1969. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири (пояснительный текст к серии агроклиматических карт Иркутской, Читинской областей и Бурятской АССР). Иркутск: ВСКнИ. 100 с.
 21. Комарова Т.А. 1986. Семенное возобновление растений на свежих гарях (леса Южного Сихотэ-Алиня). Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 224 с.
 22. Кошовский Т.С., Геннадиев А.Н., Гамова Н.С., Фаронова Е.А., Язрикова Т.С. 2022. Послепожарное состояние таежных почв хребта Хамар-Дабан (Прибайкалье) // Почвоведение. № 9. С. 1098-1111. [Koshovskii T.S., Gennadiev A.N., Gamova N.S., Faronova E.A., Yazrikova T.E. 2022. Post-Fire State of Taiga Soils and Vegetation of the Khamar-Daban Range (Cisbaikalia) // *Eurasian Soil Science*. Vol. 55. No. 9. P. 1196-1208.]
 23. Красная книга Республики Бурятия: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2013. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 688 с.
 24. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008. М.: Товарищество научных изданий КМК. 885 с.
 25. Краснощеков Ю.Н. 2007. Высотно-поясные особенности эрозионных процессов в лесных экосистемах бассейна Байкала // География и Природные Ресурсы. № 4. С. 42-48.
 26. Краснощеков Ю.Н. 2004.

- gribov*]. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2013:688.
24. Red Data Book of the Russian Federation: plants and fungi [*Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii: rasteniya i griby*]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:885.
 25. Krasnoshchekov YuN. Altitudinal-belt features of erosion processes in forest ecosystems of the Baikal basin [Vysotno-poyasnyye osobennosti erozionnykh protsessov v lesnykh ekosistemakh basseyna Baykala] *Geography and Natural Resources [Geografiya i Prirodnyye Resursy]*. 2007;4:42-48.
 26. Krasnoshchekov YuN. Soil protection role of mountain forests in the Baikal basin [*Pochvozashchitnaya rol' gornyykh lesov basseyna ozera Baykal*]. Novosibirsk: SO RAN, 2004:224.
 27. Krasnoshchekov YuN. Soils of Mountainous Forests and Their Transformation under the Impact of Fires in Baikal Region. *Eurasian Soil Science*. 2018;51 (4):371-384.
 28. Krasnoshchekov YuN, Evdokimenko MD, Cherednikova YuS, Boloneva MV. Post-fire functioning of forest ecosystems in the Eastern Baikal region [Poslepozharnoye funktsionirovaniye lesnykh ekosistem v Vostochnom Priбайkal'ye] *Siberian Ecological Journal*. 2010;17 (2):221-230.
 29. Krasnoshchekov YuN, Cherednikova YuS. Postpyrogenic transformation of soils under *Pinus sibirica* forests in the southern Lake Baikal basin. *Eurasian Soil Science*. 2012;45 (10):929-938.
 30. Krasnoshchekov YuN, Cherednikova YuS. Postpyrogenic variability of forest soils in the mountainous Baikal region [*Postpirogennaya izmenchivost' lesnykh pochv v gornom Priбайkal'ye*]. Novosibirsk: SO RAN, 2022:164.
 31. Ladeyshchikov NP, Filippov AN, Zedgenidze EP, Obolkin VA, Reznikova SA. Precipitation and moistening regime [*Osadki i rezhim uvlazhneniya*] *Structure and climate resources of Baikal and adjacent spaces [Struktura i resursy klimata Baykala i sopredel'nykh prostranstv]*. Novosibirsk: Nauka, 1977:98-125.
 32. Makunina AA. Physical Geography of the USSR [*Fizicheskaya geografiya SSSR*]. Moscow: MGU, 1985:294.
 33. Malinovskikh AA. Analysis of the activity of cenoflora species of fires in the Ob river forests of the south of Western Siberia [Analiz Pochvozaschitnaya rol' gornyykh lesov basseyna ozera Baykal. Novosibirsk: Изд-во СО РАН. 224 с.
 27. Краснощекоев Ю.Н. 2018. Почвы горных лесов Прибайкалья и их трансформация под влиянием пожаров // Почвоведение. № 4. С. 387-401. [*Krasnoshchekov Yu.N. 2018. Soils of Mountainous Forests and Their Transformation under the Impact of Fires in Baikal Region // Eurasian Soil Science. Vol. 51. No. 4. P. 371-384.*]
 28. Краснощекоев Ю.Н., Евдокименко М.Д., Чередникова Ю.С., Болонева М.В. 2010. Послепожарное функционирование лесных экосистем в Восточном Прибайкалье // Сибирский экологический журнал. Т. 17. № 2. С. 221-230.
 29. Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. 2012. Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в Южном Прибайкалье // Почвоведение. № 10. С. 1057-1067. [*Krasnoshchekov Yu.N., Cherednikova Yu.S. 2012. Postpyrogenic transformation of soils under Pinus sibirica forests in the southern Lake Baikal basin // Eurasian Soil Science. Vol. 45. No. 10. P. 929-938.*]
 30. Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. 2022. Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Novosibirsk: СО РАН. 164 с.
 31. Ладейщиков Н.П., Филиппов А.Н., Зедгенидзе Е.П., Оболкин В.А., Резникова С.А. 1977. Осадки и режим увлажнения // Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Novosibirsk: Наука. С. 98-125.
 32. Макунина А.А. 1985. Физическая география СССР. М.: Изд-во МГУ. 294 с.
 33. Малиновских А.А. 2014. Анализ активности видов ценофлоры гарей в приобских борах юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного

- aktivnosti vidov tsenoflory garey v priobskikh borakh yuga Zapadnoy Sibiri] *Bulletin of the Altai State Agrarian University [Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta]*. 2014;11:82-87.
34. Malinovskikh AA. Dynamics of species abundance indicators on the burnt area in 2006 in the north-eastern part of the Barnaul Ribbon Forest [Dinamika pokazateley obiliya vidov na gari 2006 g. v severo-vostochnoy chasti Barnaul'skogo lentochnogo bora] *Bulletin of the Altai State Agrarian University [Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta]*. 2017;11 (157):79-84.
35. Malyshev LI. Floristic zoning based on quantitative traits [Floristicheskoye rayonirovaniye na osnove kolichestvennykh priznakov] *Botanical Journal*. 1973;58 (11):1581-1588.
36. Melekhov IS. Nature of the forest and forest fires [*Priroda lesa i lesnyye pozhary*]. Arkhangelsk: OGIZ, 1947:58.
37. Methods of studying forest societies [*Metody izucheniya lesnykh obshchestv*] / eds. V.T. Yarmishko, I.N. Lyanguzova. Saint-Petersburg: NIIKhimii SPbGU, 2002:240.
38. Molozhnikov VN. Vegetation of the Baikal region [*Rastitel'nost' Pribaykal'ya*]. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2014:612.
39. Community monitoring in burnt areas and fire management in reserves [*Monitoring soobshchestv na garyakh i upravleniye pozharami v zapovednikakh*] / ed. L.V. Kuleshova. Moscow: VNIIPrirody, 2002:276.
40. Nazimova DI. Mountain dark coniferous forests of the Western Sayan [*Gornyye temnokhvoynyye lesa Zapadnogo Sayana*] *Experience of ecocenotic classification [Opyt ekologo-tsenoticheskoy klassifikatsii] Readings in memory of V.N. Sukachev*, April 23, 1973 [*Chteniya pamyati V.N. Sukacheva*]. Leningrad: Nauka, 1975:118.
41. Neshataev YuN. Methods for the analysis of geobotanical materials [*Metody analiza geobotanicheskikh materialov*]. Leningrad: LGU, 1987:192.
42. Project for the organization and management of the reserve economy of the Baikal State Reserve университета. № 11. С. 82-87.
34. Малиновских А.А. 2017. Динамика показателей обилия видов на гари 2006 г. в северо-восточной части Барнаульского ленточного бора // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 11 (157). С. 79-84.
35. Малышев Л.И. 1973. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Ботанический журнал. Т. 58. № 11. С. 1581-1588.
36. Мелехов И.С. 1947. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ. 58 с.
37. Методы изучения лесных обществ. 2002 / Ред. В.Т. Ярмишко, И.Н. Лянгузова СПб.: НИИХимии СПбГУ. 240 с.
38. Моложников В.Н. 2014. Растительность Прибайкалья. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing. 612 с.
39. Мониторинг сообществ на гарях и управление пожарами в заповедниках. 2002 / Ред. Л.В. Кулешова. М.: ВНИИ природы. 276 с.
40. Назимова Д.И. 1975. Горные темнохвойные леса Западного Саяна. Опыт эколого-ценотической классификации // Чтения памяти В.Н. Сукачева, 23 апреля 1973 г. Л.: Наука. 118с.
41. Нешатаев Ю.Н. 1987. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ. 192 с.
42. Проект организации и ведения заповедного хозяйства Байкальского Государственного Заповедника Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете министров РСФСР на 1980-2000 гг. 1981. Гомель. Т. 1. 225 с.
43. Предбайкалье и Забайкалье. 1965. М.: Наука. 492 с.
44. Пешкова Г.А. 1985. Растительность

- of the Main Directorate of Hunting and Nature Reserves under the Council of Ministers of the RSFSR for 1980-2000 [*Proyekt organizatsii i vedeniya zapovednogo khozyaystva Baykal'skogo Gosudarstvennogo Zapovednika Glavnogo upravleniya okhotnich'yego khozyaystva i zapovednikov pri Sovete ministrov RSFSR na 1980-2000 gg.*]. Gomel, 1981;1:225.
43. Baikalia and Transbaikalia [*Predbaykal'ye i Zabaykal'ye*]. Moscow: Nauka, 1965:492.
44. Peshkova GA. Vegetation of Siberia (Baikalia and Transbaikalia) [*Rastitel'nost' Sibiri (Predbaykal'ye i Zabaykal'ye)*]. Novosibirsk: Nauka, 1985:135.
45. Seregin AP. National Depository Bank of Living Systems [*Natsional'nyy bank-depozitariy zhivykh sistem*] Digital herbarium of Moscow State University [*Tsifrovoy gerbariy MGU*]. 2023, Available at <https://plant.depo.msu.ru/> (Date of Access 24/02/2023).
46. Sizykh AP, Gritsenyuk AP, Shekhovtsov AI, Voronin VI. Structure and trends in the formation of forests on the southeastern coast of Lake Baikal [*Struktura i tendentsii formirovaniya lesov yugo-vostochnogo poberezh'ya ozera Baykal*] *Geography and Natural Resources*. 2019;5:33-37.
47. Smirnov VE, Khanina LG, Bobrovsky MV. Substantiation of the system of ecological-coenotic groups of plant species in the forest zone of European Russia based on ecological scales, geobotanical descriptions and statistical analysis [*Obosnovaniye sistemy ekologo-tsenoticheskikh grupp vidov rasteniy lesnoy zony Yevropeyskoy Rossii na osnove ekologicheskikh shkal, geobotanicheskikh opisaniy i statisticheskogo analiza*] *Bulletin of the MOIP. Biological Series* [*Seriya "Biologiya"*]. 2006;111 (2):36-47.
48. Sofronov MA, Volokitina AV, Sofronova TM. Fires and pyrogenic successions in the forests of the Southern Baikal region [*Pozhary i pirogennyye suktsessii v lesakh Yuzhnogo Pribaykal'ya*] *Siberian Ecological Journal*. 2008;15 (3):381-388.
49. Sofronova TM. On forecasting fire danger in the forests of Khamar-Daban [*O prognozirovanii pozharnoy opasnosti v lesakh Khamar-Dabana*] *Proc. of the Tigirek Reserve* [*Trudy Tigirekskogo Sibiri (Predbaykal'ye i Zabaykal'ye)*]. Novosibirsk: Nauka. 135 с.
45. Seregin A.P. 2023. Национальный банк-депозитарий живых систем. Цифровой гербарий МГУ. [Электронный ресурс <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения 24.02.2023)].
46. Сизых А.П., Гриценюк А.П., Шеховцов А.И., Воронин В.И. 2019. Структура и тенденции формирования лесов юго-восточного побережья озера Байкал // География и природные ресурсы. № 5. С. 33-37.
47. Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. 2006. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюллетень МОИП. Серия «Биология». Т. 111. № 2. С. 36-47.
48. Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. 2008. Пожары и пирогенные сукцессии в лесах Южного Прибайкалья // Сибирский экологический журнал. Т. 15. № 3. С. 381-388.
49. Софронова Т.М. 2005. О прогнозировании пожарной опасности в лесах Хамар-Дабана // Труды Тигирекского заповедника. Красноярск. С. 153-154.
50. Тюлина Л.Н. 1976. Влажный прибайкальский тип поясности растительности. Новосибирск: Наука. 320 с.
51. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Балсанова Л.Д. 2012. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии

- zapovednika*]. Krasnoyarsk, 2005:153-154.
50. Tyulina LN. Humid Pribaikalsky type of vegetation zonality [*Vlazhnyy pribaykal'skiy tip poyasnosti rastitel'nosti*]. Novosibirsk: Nauka, 1976:320.
 51. Ubugunov LL, Ubugunova VI, Badmaev NB, Gyninova AB, Ubugunov VL, Balsanova LD. Soils of Buryatia: diversity, systematics and classification [Pochvy Buryatii: raznoobraziye, sistematika i klassifikatsiya] *Bulletin of V.R. Filippov's Buryat State Agricultural Academy [Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova]*. 2012;2:45-52.
 52. Khutakova SV, Altaev AA. Diversity of soils in forests Khamar-Daban (on the example of UNPK "Orongoy") [*Raznoobraziye pochv lesov khr. Khamar-Daban (na primere UNPK «Orongoy»)*] *Innovative Development of Science and Technology: collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference [Innovatsionnoye Razvitiye Nauki i Tekhniki: sbornik statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. 2020:42-46.
 53. Shikalova EA. Rates of post-fire recovery of populations of rare species of vascular plants on the territory of the Sayano-Shushensky Reserve [Tempy poslepozharnogo vosstanovleniya populyatsiy redkikh vidov sosudistyykh rasteniy na territorii Sayano-Shushenskogo zapovednika] *Scientific research in reserves and national parks of South Siberia [nyye issledovaniya v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Yuzhnoy Sibiri]*. 2019;9:89-91.
 54. CEPL [TSEPL] *Ecological-cenotic groups of species [Ekologo-tsenoticheskiye gruppy vidov] CEPL scales [Shkaly TSEPL]*. 2023, Available at www.cepl.rssi.ru/bio/flora/ecoscale.htm (Date of Access 24/02/2023).
 55. Certini G. Fire as a Soil-forming Factor. *Ambio*. 2014;43 (2):191-195.
 56. Chuvieco E, Giglio L, Justice C. Global Characterization of Fire Activity: Toward Defining Fire Regimes from Earth Observation Data. *Global Change Biology*. 2008;14 (7):1488-1502.
 57. Delarze R, Caldelari D, Hainard P. Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland. *Journal of Vegetation Science*. 1992;3 (1):55-60.
 58. Effects of Fire on Soil and Water. 2005 // *Wildland Fire in Ecosystems*. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Vol. 42. 250 p.
 59. Girardin M.P., Ali A.A., Hely C. 2010. Wildfires in Boreal Ecosystems: Past, Present and Some Emerging Trends // *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 19. No. 8. P. 991-995.
 60. Pausas J.G., Keeley J.E. 2009. им. В.Р. Филиппова. № 2. С. 45-52.
 - Хутакова С.В., Алтаев А.А. 2020. Разнообразие почв лесов хр. Хамар-Дабан (на примере УНПК «Оронгой») // *Инновационное Развитие Науки и Техники: сборник статей VI Международной научно-практической конференции*. С. 42-46.
 - Шикалова Е.А. 2019. Темпы послепожарного восстановления популяций редких видов сосудистых растений на территории Саяно-Шушенского заповедника // *Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири*. Вып. 9. С. 89-91.
 - ЦЭПЛ. 2023. Эколого-ценотические группы видов. Шкалы ЦЭПЛ. [Электронный ресурс www.cepl.rssi.ru/bio/flora/ecoscale.htm (дата обращения 24.02.2023)].
 - Certini G. 2014. Fire as a Soil-forming Factor // *Ambio*. Vol. 43. No. 2. P. 191-195.
 - Chuvieco E., Giglio L., Justice C. 2008. Global Characterization of Fire Activity: Toward Defining Fire Regimes from Earth Observation Data // *Global Change Biology*. Vol. 14. No. 7. P. 1488-1502.
 - Delarze R., Caldelari D., Hainard P. 1992. Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland // *Journal of Vegetation Science*. Vol. 3. No. 1. P. 55-60.

58. Effects of Fire on Soil and Water. Wildland Fire in Ecosystems. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005;42:250.
59. Girardin MP, Ali AA, Hely C. Wildfires in Boreal Ecosystems: Past, Present and Some Emerging Trends. *International Journal of Wildland Fire*. 2010;19 (8):991-995.
60. Pausas JG, Keeley JE. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*. 2009;59 (7):593-601.
61. Potapov P, Zhuravleva I, Yaroshenko A. Intact Forest Landscapes. 2021, Available at <http://intactforests.org/world.webmap.html> (Date of Access 24/02/2023).
62. Plants of the World Online. 2023, Available at <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (Date of Access 24/02/2023).
63. Thomaz EL, Antoneli V, Doerr SH. Effects of Fire on the Physicochemical Properties of Soil in a Slash-and-Burn Agriculture. *Catena*. 2014;122:209-215.
64. UNESCO World Heritage Convention. 2022, Available at <http://whc.unesco.org/> (Date of Access 24/02/2023).
- A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life // *BioScience*. Vol. 59. No. 7. P. 593-601.
61. Potapov P., Zhuravleva I., Yaroshenko A. 2021. Intact Forest Landscapes. [Электронный ресурс <http://intactforests.org/world.webmap.html> (дата обращения 24.02.2023)].
62. Plants of the World Online. 2023. [Электронный ресурс <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (дата обращения 24.02.2023)].
63. Thomaz E.L., Antoneli V., Doerr S.H. 2014. Effects of Fire on the Physicochemical Properties of Soil in a Slash-and-Burn Agriculture // *Catena*. Vol. 122. P. 209-215.
64. UNESCO World Heritage Convention. 2022. [Электронный ресурс <http://whc.unesco.org/> (дата обращения 24.02.2023)].

УДК 581.555.3

РАННИЕ СТАДИИ ПИРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ (БАЙКАЛЬСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

© 2023 г. Н.С. Гамова*, **, Е.А. Фаронова*, Ю.Н. Коротков**, Т.С. Кошовский*, Т.Е. Язрикова*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: bg_natagatova@mail.ru

**Байкальский государственный природный биосферный заповедник
Россия, 671220, Республика Бурятия, Кабанский р-н, п. Танхой, ул. Красногвардейская, д. 34

Поступила в редакцию 03.04.2023. После доработки 31.05.2023. Принята к публикации 01.06.2023.

В статье проанализированы ранние стадии восстановительной пирогенной сукцессии на гари в пихтовом с кедром лесу. Участок исследования типичен для среднегорья северного макросклона Хамар-Дабана; пожар имеет естественное природное происхождение. Отмечены пирогенные изменения во флористическом составе, а также в структуре лесного фитоценоза. Зафиксировано упрощение ярусности, уменьшение общего числа видов и разнообразия эколого-ценотических групп растений на участке гари в первые годы после прохождения пожара. Проведено сравнение послепожарного растительного сообщества с ненарушенным лесом. Оценено участие редких и охраняемых видов растений на гари.

Установлено, что лесные пожары в пихтовых лесах приводят к полной гибели древостоев

и запускают восстановительную пирогенную сукцессию, которая в данных условиях проходит со сменой пород на вторичные мелколиственные. В первые годы после пожара коэффициент сходства флористического состава фитоценоза гари и ненарушенного леса не превышает 0.5; также меняется спектр эколого-ценотических групп, во все годы доминирует группа Вг (таежное мелкотравье). При этом на гари встречаются виды растений, не отмеченные в коренном лесу, а обилие отдельных редких видов увеличивается. Структура растительного сообщества гари упрощается: уменьшается число ярусов и их сомкнутость / проективное покрытие. В течение 5 лет после пожара травяно-кустарничковый ярус восстанавливает общее проективное покрытие, характерное для фонового ненарушенного леса; кустарники резко увеличивают сомкнутость за счет малины, а древесный ярус в виде подроста и моховой ярус лишь начинают свое восстановление.

Однократное пожарное нарушение темнохвойного леса при относительно небольшой площади гари не вызывает необратимой деградации фитоценоза. Таежные экосистемы сохраняют потенциал восстановления, достаточный для успешного прохождения сукцессии.

Ключевые слова: Хамар-Дабан, лесные пожары, пихтовые леса, пирогенные сукцессии лесной растительности, редкие виды, эколого-ценотические группы видов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллективу Байкальского заповедника за содействие в организации полевых работ.

Финансирование. Работа Н.С. Гамовой в МГУ им. Ломоносова (подготовка статьи) выполнена в рамках НИР № 121032500090-7 «Таксономическое разнообразие региональных флор России и сопредельных государств. Научная обработка коллекций Гербария МГУ как основа изучения региональных флор»; полевые исследования Н.С. Гамовой проведены в рамках государственного задания Байкальского заповедника по теме «Летопись природы»; анализ полученных данных был проведен Т.С. Кошовским в рамках госбюджетной темы «Антропогенная геохимическая трансформация компонентов ландшафта» (номер ЦИТИС 121051400083-1).

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-113-136

EDN: HAPPNQ

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 574.52(282.247.431.2)

**СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ И ДОННЫХ СООБЩЕСТВ РАВНИННОЙ РЕКИ
УСА (БАССЕЙН СРЕДНЕЙ ВОЛГИ, КУЙБЫШЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ)
В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

© 2023 г. Т.Д. Зинченко*, Э.В. Абросимова*, О.Г. Горохова*, Л.В. Головатюк*,
Р.С., Кузнецова*, С.Э. Болотов**

*Институт экологии Волжского бассейна РАН
Россия, 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10
E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru

**Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109. E-mail: ibiev@mail.ru

Поступила в редакцию 28.03.2023. После доработки 31.05.2023. Принята к публикации 01.06.2023.

Рассмотрены особенности пространственной и структурной изменчивости планктонных и донных сообществ на участках малой равнинной реки Уса (приток Куйбышевского водохранилища) на фоне комплексных исследований экологического состояния и качества воды в реке. По результатам исследований в 2017-2018 годов выявлен характер пространственного распределения видов сообществ фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса по продольному профилю реки с учетом гидрохимических показателей. Выполнен сравнительный анализ изменения видового богатства планктонных и донных сообществ, оценок экологического состояния участков реки с учетом пространственной изменчивости видового разнообразия и количественных характеристик. По результатам изменений численности и биомассы основных таксономических групп с использованием различных методологических подходов изучения динамики гидробиологических показателей была установлена их нестационарность и существование закономерных трендов в зависимости от гидрологических и гидрохимических факторов. Впервые дана оценка биоразнообразия альгоценозов летнего планктона р. Уса в зависимости от гидрологических условий, антропогенного влияния, изменения содержания биогенных веществ. Установлен 201 таксон альгофлоры рангом ниже рода из 7 отделов водорослей. Доминирующими являются Bacillariophyta (56%) и Chlorophyta (28%). В лимнопланктоне Усинского залива соотношение видов в составе отделов водорослей меняется в сторону возрастания доли зеленых водорослей – Chlorophyta (45%). Доля Cyanoprokaryota изменяется от 4% в реке до 12% в заливе.

Установлено, что пространственная динамика структуры альгоценозов в р. Уса характеризуется увеличением видового разнообразия, численности, биомассы, содержания хлорофилла-«а» от истока к устью. Корреляционный анализ выявил наличие достоверных связей ($P \leq 0.05$) между скоростью течения, концентрацией хлорофилла-«а», численностью, удельным числом видов и биомассой: $r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$ и $r = -0.79$ соответственно. По биомассе и концентрации хлорофилла-«а» трофическое состояние рек в верхнем и среднем течении является олиготрофным, в устьевых участках – олиго-мезотрофным, в Усинском заливе водные массы соответствуют мезотрофному типу. Основным загрязняющим веществом на всем протяжении является концентрация $P_{\text{общ}}$ (7-18 ПДК), что сопровождается увеличением доли миксотрофных фитофлагеллят – индикаторов органического загрязнения. Возрастание численности и биомассы фитопланктона в 2017 году обусловлено высоким содержанием биогенных элементов N и P. Зоопланктон водной системы р. Уса включает 45 видов, из которых коловраток – 28, ветвистоусых – 13 и веслоногих ракообразных – 4. Состав зоопланктона типичен для водоемов Волжского бассейна, представлен фитофильными и планктобентосными коловратками, ветвистоусыми ракообразными рода *Alona*. Впервые в зоопланктоне устьевой зоны реки зарегистрирован вид-вселенец – коловратка *Kellicottia*

bostoniensis (Rousselet), обитатель водоемов северных широт. Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены в глубоководном участке река–водохранилище, где численность и биомасса зоопланктона достигают 0.4 тыс. экз./м³ и 5.4 г/м³ с преобладанием *Daphnia galeata* Sars. Динамичность гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов по типу экоклина в условиях обитания в мезо-эвтрофных водных массах.

Установлена пространственная изменчивость планктонных и донных сообществ с учетом локальной биотопической изменчивости, определяемой особенностями геоморфологии ландшафта и закономерным трендом количественных показателей таксоценов биотических сообществ.

Оценка качества воды и экологического состояния водотока выполнена с использованием интегральных методов и метрик. Полученные результаты оценки качества воды р. Уса могут быть использованы в качестве эталонных для расчета мультиметрических показателей экологического состояния типологически сходных малых равнинных рек.

Ключевые слова: река Уса, малые реки, планктонные и донные сообщества, таксономическое разнообразие, абиотические факторы, пространственное распределение, экологическое состояние, качество воды.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-137-175

EDN: HGMMEE

Проблемы устойчивого социо-эколого-экономического развития страны в целом и отдельных её регионов в частности тесно связаны с решением вопросов охраны и реабилитации водных объектов – в первую очередь, как источников снабжения населения пресной водой. В этой связи исследованию малых рек бассейна Средней и Нижней Волги уделяется пристальное внимание (Биоиндикация ..., 2007; Особенности ..., 2011; Гидроэкология ..., 2015; Крылов, 2005; Зинченко, Головатюк, 2010; Шитиков, Зинченко, 2011; Зинченко, Розенберг, 2012; 2021; Шитиков и др., 2021). Важность изучения рек состоит еще и в том, что они являются основой создания водохранилищ (разной размерности), которые коренным образом могут изменять климат и ландшафт, а значит, структуру и функционирование как водных, так и наземных экологических систем. Вместе с тем следует иметь в виду, что до настоящего времени комплексные оценки экологического состояния рек затруднены в связи с недостатком информации об экологических процессах, происходящих в разнотипных равнинных реках при антропогенном воздействии на них, динамичности гидрологических факторов и в связи с изменением природных климатических условий.

Несомненно, что система экологической оценки состояния водотоков нуждается в дальнейшем совершенствовании (Богатов, 1994; Богатов, Федоровский, 2017). Особенно это касается речных экосистем, характеризующихся протекающими в них сложными экологическими процессами, связанными с особенностями пространственной динамики биоты. Анализ закономерностей пространственного распределения сообществ гидробионтов относится к фундаментальным задачам экологии и гидробиологии (Алимов и др., 2013). Для лотических систем ведущая роль отводится проблеме гетерогенности видовой структуры биотических сообществ (Шитиков и др., 2005, 2010; Шитиков, Зинченко, 2011, 2013, 2014; Зинченко и др., 2017), где значительное влияние оказывают гидрологические, ландшафтно-геоморфологические и другие абиотические факторы воздействия. Исследование пространственной динамики биотических сообществ является необходимым этапом в изучении малых рек Волжского бассейна.

Целью статьи является обобщение комплексных исследований экологического состояния малой равнинной р. Уса, притока р. Волги в районе Куйбышевского водохранилища, выполненных в 2017-2018 гг., с акцентом на оценку состояния планктонных и донных сообществ.

Материалы и методы

Река Уса берёт начало на Волжско-Свияжском водоразделе недалеко от пос. Гремячий (координаты: 53° 26' 32.2" с.ш., 48° 09' 26.5" в.д.) и впадает в Усинский залив Куйбышевского водохранилища у северо-западной оконечности Жигулевских гор (рис. 1).

Район исследований. Длина реки – 76 км, с учетом Усинского залива – 143 км, водосборная площадь – 2240 км², максимальная глубина – 4 м, скорость течения – 0.4–0.7 м/с, прозрачность воды – от 40 до 60 см (табл. 1). Рельеф водосбора волнистый, местами пересечён крутыми и обрывистыми оврагами. Долина реки пойменная, шириной до 2.5–4 км. Склоны долины высотой 20–30 м, пологие, супесчаные, открытые. Русло реки умеренно извилистое, слабо деформирующееся. Среднемесячная температура воды в реке в вегетационный период колеблется от 2.8°C в мае до 4.8°C в октябре, с максимальной температурой в июле – 18.7°C. В 2017 году зарегистрированы климатические аномалии: раннее половодье, весеннее похолодание и высокая влажность (среди самых влажных лет эта весна занимает 5 место), обилие весенних осадков (выше нормы на 29 мм в мае). В среднем по области за месяц выпало 63 мм осадков или 185% от нормы. Май 2017 года вошел в двадцатку самых холодных лет с 1936 года (Доклад ..., 2018).

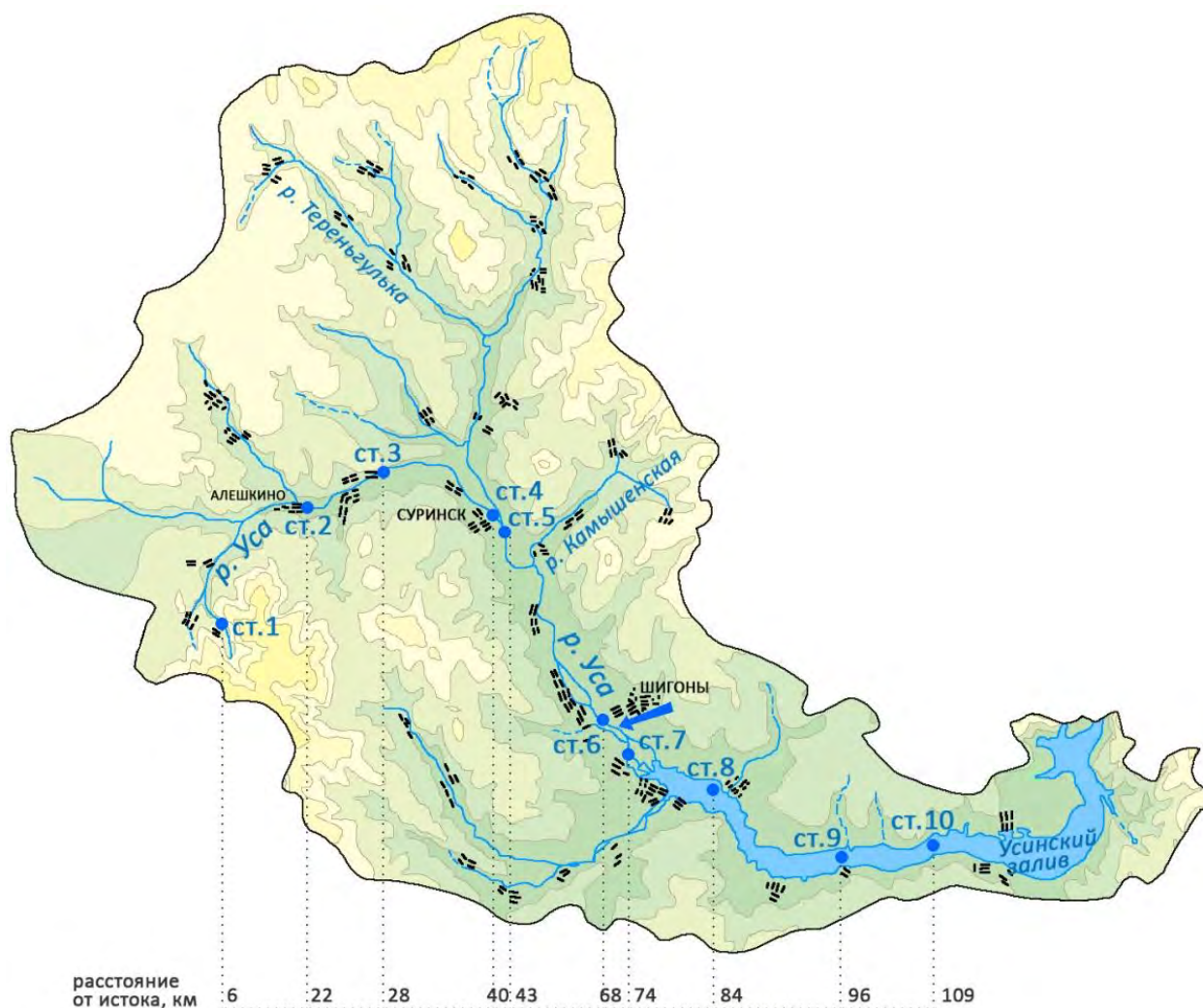


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на р. Уса.

Fig. 1. Scheme showing the location of sampling stations along the Usa River.

Природно-географическая характеристика водоохранной зоны и краткая характеристика охраняемых природных территорий бассейна реки приводились нами ранее (Зинченко и др., 2019). Основные гидрографические и гидрологические данные реки и ее притоков даны в таблице 1. Отбор проб воды в 2017-2018 гг. (июнь-июль) для гидрохимического анализа осуществлялся с поверхностного горизонта на 10 станциях верхнего, среднего и нижнего течения реки (рис. 1) в летнюю межень.

Таблица 1. Гидрографические и гидрологические характеристики р. Уса.
Table 1. Hydrographic and hydrological characteristics of the Usa River.

Параметры	Значения
Географические координаты положения бассейна	Исток: 53° 24' с.ш., 48° 12' в.д. Устье: 53° 20' с.ш., 48° 41' в.д.
Средний уклон водосбора, ‰	23
Длина реки, включая Усинский залив, км	143
Длина реки до впадения в Усинский залив, км	76
Площадь водосборного бассейна, включая Усинский залив, км ²	3352
Средняя высота водосбора, м	184
Основные притоки (от устья), км:	
Муранка	18
Тишерек	38
Камышинская	26
Теренгулька	54
Кока	57
Борла	61
Максимальная глубина, м	3-4
Густота речной сети, км/км ²	0.13
Скорость течения, м/с	0.4-0.7
Общее падение, м	180
Средняя глубина на плесах, м	2-3
Средняя глубина на перекатах, м	0.1-0.5
Глубина в месте впадения в залив, м	1-2
Ширина реки, м:	
в верховье	0.9-2.5
в месте впадения в залив	20-50
в устьевой части	до 110
Среднегодовой расход воды, м ³ /с	6.2
Коэффициент извилистости реки	1.3
Средний уклон реки, ‰	3.6

В режиме р. Усы прослеживаются все фазы годового цикла: половодье, паводки, летняя и зимняя межени. До 80% годового стока реки приходится на половодье, которое

наблюдается в середине апреля – мае. В этот период расходы воды возрастают более чем в 20 раз, а уровень воды повышается в 1.5 раза (гидропост – с. Байдеряково, в 23 км от устья, места впадения реки в Усинский залив).

Сбор и обработка альгологических проб и определение содержания хлорофилла-«а» в воде проведены в соответствии с методами, принятыми при гидробиологических исследованиях (SCOR-UNESCO, 1966; Методика изучения ..., 1975; Методические рекомендации ..., 1984б). Мониторинговые исследования проводились в верхнем, среднем и нижнем течении реки (июнь, июль 2017-2018 гг.) и в Усинском заливе.

Для характеристики альгоценозов использовали следующие показатели: численность (млн. кл./л), биомасса (мг/л), удельное видовое богатство (число видов в пробе), концентрация хлорофилла-«а» в сестоне (мкг/л). К массовым видам (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие 5-10% и более 10% суммарной численности или биомассы фитопланктона. Степень сходства видового состава оценена по коэффициенту Сёренсена. Кластеризация данных для построения дендрограмм в программе Statistica проведена путем сравнения полных списков видов, а для выявления особенностей локальных альгофлор – путем сравнением состава массовых форм участков рек. Оценка связи показателей фитопланктона с абиотическими параметрами проведена с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Отбор проб фитопланктона и их обработка велись по стандартным методам исследований (Методика изучения ..., 1975; Karlson et al., 2010) с использованием микроскопа Leica DM-4000-B.

Камеральная обработка проб зоопланктона выполнена по стандартной методике (Методика изучения ..., 1975). Основные исследования р. Уса и ее притоков выполнены в июне-июле 2017 и 2018 гг. Они включали подробное изучение структуры водных масс и зоопланктона на 10 станциях с акцентом на исследование устьевой зоны реки и ее малых притоков: рр. Теренгулька, Муранка и Тишерек. Отбор проб зоопланктона производили путем процеживания 100 л воды через количественную сеть Джели. В нижнем течении отбирали пробы воды батометром ($V = 2.5$ л) объемом 10 л в столбе воды от поверхности до дна. Содержимое батометра процеживали через капроновую сеть из газа № 64 (с размером ячеек 0.076 мм) и фиксировали 4% раствором формальдегида. Камеральную обработку проб зоопланктона проводили по стандартной методике (Методика изучения ..., 1975). Параллельно с отбором проб измеряли портативным зондом YSI-85 электропроводность (Ес, мкСм/см) и температуру (t, °С) воды. Зоопланктон оценивали по видовому богатству, удельному разнообразию, численности, биомассе, рациону мирных и хищных беспозвоночных и продукции (Методические рекомендации ..., 1982; Определение продукции популяций ..., 2000).

Отбор проб макрозообентоса проводили в июне-июле 2017-2018 гг. на станциях верхнего, среднего и нижнего участков р. Уса. Количественные пробы макрозообентоса отбирали дночерпателями Экмана-Берджи (0.04 м², по 2 подъема на станции) и ДАК100 (0.01 м², по 2 подъема на станции). При количественном учете в состав «мягкого» бентоса включены мелкие моллюски (до <1 см) без учета крупных унионид, вивипарид и дрейссенид. Отбор проб в ритрале осуществляли гидробиологическим скребком (длина ножа – 20 см, протягивание скребка – 0.5 м, размер ячеек – 0.23 мм) и штанговым дночерпателем (1/400 м² по 2-8 подъемов, в зависимости от типа грунта). Грунт промывали через капроновое сито с размером ячеек 300-333 мкм. Отбор проб макрозообентоса в Усинском заливе осуществляли драгой (длина ножа – 40 см, протягивание драги – 5 м). Камеральная и статистическая обработка образцов зообентоса проводилась согласно существующим методикам (Методика изучения ..., 1975; Методические рекомендации ..., 1984а, б; Руководство по гидробиологическому ..., 1992; Зинченко, 2011; Зинченко и др., 2000) в лаборатории экологии малых рек Институт экологии Волжского бассейна РАН.

В р. Уса выделены верхний (ст. 1-4), средний (ст. 5-6), нижний участки (ст. 7-8) и станции в зоне смешения речных вод и Куйбышевского водохранилища (ст. 8-10; рис. 1).

Оценку качества воды и экологического состояния реки выполняли с использованием биотических и интегральных индексов: EPT Index, биотический индекс р. Трент (Trent Biotic Index, TBI; Woodiwiss, 1964), индекс рабочей группы биологического мониторинга (Biological Monitoring Working Party Index, BMWP), индекс средних значений таксонов (Average Score Per Taxon Index), интегральный индекс экологического состояния вод (ИИЭС; Зинченко и др., 2010), индекс видового разнообразия Шеннона (H_n). Используемый нами для расчетов индекс EPT основан на соотношении наиболее чувствительных к загрязнению представителей отрядов Ephemeroptera, Trichoptera и Plecoptera. Для расчета индекса на каждой станции отбора проб подсчитывали таксоны поденок, ручейников и веснянок, суммируя число видов из указанных отрядов. Биотический индекс р. Трент (Woodiwiss, 1964) основан на соотношении количества видов устойчивых и неустойчивых к загрязнению. При увеличении степени загрязнения рек из состава донной фауны в определенной последовательности выпадают наиболее уязвимые группы гидробинтов: веснянки → поденки → ручейники → ракообразные. Индекс рабочей группы биологического мониторинга основан на балльной оценке подсемейств донных беспозвоночных, поэтому этот показатель имеет 5 градаций качества вод (Leeds-Harrison et al., 1996). Индекс Гуднайта и Уитли (G/WI) характеризует состояние водных экосистем по соотношению численности олигохет к общей численности гидробионтов зообентоса (Barbour et al., 1995), имеет 3 градации качества вод и достаточно информативен для оценки качества вод малых рек бассейна Средней и Нижней Волги (Головатюк, Зинченко, 2020).

Исследование экологического состояния р. Уса и ее притоков проведено с использованием разных методологических подходов, изложенных и подробно описанных в наших предыдущих работах (Зинченко и др., 2019; Головатюк, Зинченко, 2020).

Результаты исследований

Гидрохимический фон реки формируется главным образом за счет привноса химических веществ с притоками, поверхностным стоком и выщелачиванием выстилающих речную долину осадочных пород. На фоновые показатели оказывают влияния последствия хозяйственной деятельности на водосборе. Накапливающиеся на водосборной площади биогенные элементы, сносятся поверхностным стоком в реку, усиливая процессы естественного эвтрофирования водотока. Точечные источники загрязнения прибрежной зоны (многочисленные базы отдыха, сельскохозяйственные поля) способствуют в определенной степени загрязнению водных масс и донных отложений биогенными и органическими веществами.

Антропогенная нагрузка

По неоднородности качества воды и по типу антропогенного воздействия на р. Уса выделяются три участка:

- участок *верхнего течения* реки – от истока реки до впадения р. Кока в районе с. Елшанка, слабо подверженный антропогенному воздействию;
- участок *среднего течения* реки – ниже с. Елшанка до впадения р. Теренгулька, испытывающий воздействие сточных вод от коммунальных хозяйств с. Белогорское и ПГТ Теренгулька;
- участок *нижнего течения* – ниже впадения р. Теренгулька до устья реки, находящийся под влиянием вод стекающих с расположенных выше участков реки и водных масс Усинского залива.

Река Уса относится к равнинным рекам, испытывающим на отдельных участках локальную антропогенную нагрузку. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в водоток являются сбросы коммунально-бытовых сточных вод и поверхностный сток с площадей, занятых сельскохозяйственной деятельностью и с водосборной площади реки (населенные пункты, лагеря, турбазы и др.; табл. 2-4).

Таблица 2. Сброс сточных вод в р. Уса за 2017 г. **Table 2.** Wastewater discharge in the Usa River in 2017.

Вид сточных вод	Объем сброса, тыс. м ³ /год
Всего	176.24
Загрязненные	159.44
Нормативно очищенные	16.8

Примечание к таблицам 2-4: данные госстатотчетности предприятий даны по форме 2ТП (водхоз). **Note to Table 2-4:** data of state enterprise statistical reports are provided according to 2ТП (vodkhoz).

Таблица 3. Предприятия, сбрасывавшие сточные воды в р. Уса в 2017 г. **Table 3.** Enterprises that discharged wastewater into the Usa River in 2017.

Предприятие	Расстояние от устья, км	Год	Объем сточных вод, тыс. м ³
Верхний участок реки			
Сбрасывающих предприятий нет	57	2017	–
Средний участок реки			
Белогорское коммунальное хозяйство	63	2017	16.8
Теренгульское коммунальное хозяйство	58	2017	142.9
Нижний участок реки			
Управляющая компания жилищно-коммунального хозяйства Шигоны	9	2017	16.54

Таблица 4. Загрязняющие вещества, сбрасываемые со сточными водами в р. Уса за 2017 г. **Table 4.** Wastewater pollutants discharged into the Usa Rive in 2017.

Загрязняющие вещества	Масса загрязняющего вещества в сточных водах, тонн
Сухой остаток	4.23
Сульфат-анион (сульфаты) (SO ₄)	0.73
Хлориды (Cl ⁻)	0.23
Нитрат-анион (NO ⁻³)	0.20
Взвешенные вещества	0.13
БПК полный	0.05
Азот аммонийный	0.00
Всего	5.57

Химический состав воды и донных отложений

В связи с тем что водные ресурсы р. Уса одновременно используются в различных целях (рекреационных, рыбохозяйственных, хозяйственно-бытовых), для определения состояния водных масс реки, согласно постановлению Росгидромета № 140-287 от 22.02.96, были взяты наиболее жесткие нормативы ПДК, характерные для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Из общесанитарных показателей состояния р. Уса определялись прозрачность воды, водородный показатель (рН), содержание растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода.

Прозрачность воды имеет определенную направленность: от истока к устьевому участку идет нарастание величины прозрачности от 0.3 м (верховье) до 1.3 м (Усинский залив). Малые глубины (0.3-0.5 м) в верхнем течении реки, способствующие взмучиванию грунтов и поступлению взвешенных веществ в воду, приводят к снижению прозрачности на этом участке.

Водородный показатель (ед. рН). По концентрации водородных ионов вода р. Уса в верхнем течении имеет нейтральную (6.71-7.46), а в среднем и нижнем – слабощелочную реакцию (7.90-8.22). Изменчивость рН по длине реки невелика, коэффициент вариации равен 5%. Средние значения рН воды в верхнем течении – 7.08, в среднем – 8.12, в нижнем – 7.90 (рис. 2).

Кислородный режим реки благоприятен для существования и развития гидробионтов; концентрация кислорода за период исследований не снижалась ниже нормативных показателей и находилась в диапазоне 7.7-7.9 мг/дм³, что соответствует 75-83% насыщения. Определенного тренда в изменении содержания растворенного кислорода по длине реки не выявлено; характер его изменчивости неустойчив, с относительно невысокой степенью variability.

Биохимическое потребление кислорода. Содержание лабильной фракции органического вещества (БПК₅) не превышает установленные для природных вод рыбохозяйственного назначения нормативы. По концентрации БПК₅ вода в реке на всем протяжении характеризуется как «чистая» (по классификации А.Д. Семеновой с соавторами (1977)).

Общая минерализация воды в целом для реки не превышает значений рыбохозяйственного ПДК и находится в диапазоне 90-535 мг/дм³. Наибольшие значения минерализации (491-535 мг/дм³) характерны для среднего и нижнего течений реки, минимальные (90-401 мг/дм³) – для верхнего участка. По соотношению главных ионов вода реки на всех участках относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция (Алекин, 1970) (табл. 5). Изменения в соотношении ионного состава и общей минерализации воды связаны с химическим составом осадочных пород речного бассейна и влиянием точечных источников загрязнения. Соответственно росту минерализации изменяется жесткость воды: в истоке реки вода характеризуется как очень мягкая (1.1-1.2 мг-экв./дм³), на верхнем, среднем и нижнем участках – как умеренно жесткая (4.5-5.5 мг-экв./дм³).

Таблица 5. Макрокомпонентный состав воды р. Уса. **Table 5.** Macro-component composition of the Usa River water.

Участок реки	Компонент, мг/л						Сумма ионов
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
Верхний	20.0	2.4	0.6	7.0	15.0	45.0	90.0
Средний	85.6	10.6	29.6	17.0	36.0	235.7	414.5
Нижний	77.0	43.7	23.0	32.7	98.2	175.3	449.9

Биогенные элементы. В азотной группе содержание нитратного азота на всех участках реки в несколько раз ниже ПДК. Концентрации аммонийного азота находятся в пределах от 0.039 до 0.37 мг/дм³, что соответствует 0.1-0.9 ПДК, соответственно. Диапазон нитритной формы азота 0.02-0.066 мг/дм³ (1-3.3 ПДК). Превышение концентрации N-NO₂ отмечается на протяжении всей реки (табл. 6). Содержание фосфатов в воде реки в верхнем течении превышает ПДК в 8-18 раз, в среднем участке – в 1.4-13 раз, в нижнем – в 8-9 раз; преобладающие концентрации 1.68-2.57 мг/дм³ (рис. 2). Значительное превышение нормативного показателя содержания P-PO₄ в воде объясняется поступлением обогащенных фосфатами вод с поверхности водосборного бассейна, что отмечено нами как в 2017 г., так и в 2018 гг. и характерно участку реки ниже с. Шигоны. В целом, по содержанию фосфатов в воде, р. Уса относится к водотокам эвтрофного типа.

Концентрации общего железа на всем протяжении реки были выше ПДК; диапазон изменений лежит в пределах – от 1.1 до 7.6 ПДК (0.11-0.76 мг/дм³; рис. 2). Максимальное превышение ПДК (7.6 мг/дм³) характерно для верхнего течения реки.

Среди специфических органических соединений исследовались нефтепродукты (НПР) и фенолы. Содержание нефтепродуктов на всем протяжении реки было ниже ПДК. В верхнем и нижнем участках водотока концентрации НПР в среднем составляют 0.03 мг/дм³ (0.6 ПДК), в среднем участке реки – 0.033 мг/дм³ (0.7 ПДК; рис. 2).

Фенольные соединения на всем протяжении р. Уса превышают ПДК в 1.9 раза; их концентрация на каждом из участков составила 0.0019 мг/дм³ (табл. 6).

Основными токсикантами неорганического происхождения в воде реки, встречающиеся в концентрациях, превышающих ПДК, являются марганец и медь (табл. 6; рис. 2). Высокий уровень токсического загрязнения реки марганцем зафиксирован локально, в истоке, где его содержание достигало 7 ПДК; на остальных участках концентрации марганца составили 0.8 ПДК. Превышение концентраций меди на уровне 2.0-2.6 ПДК зарегистрировано на всех обследованных участках реки. Превышения концентраций цинка, свинца, никеля и кадмия в воде реки не зарегистрировано.

Качество воды в р. Уса, оцениваемое по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) на основе комплекса контролируемых показателей, превышающих ПДК, в верхнем и нижнем течении соответствует IV классу, разряду «а» – «грязная», в среднем – III классу, разряду «б» – «очень загрязненная» (табл. 7, рис. 3).

К приоритетным загрязняющим веществам в воде на всем протяжении р. Уса, превышающим в разной степени нормативные показатели, относятся: медь, железо, нитритная форма азота, фосфаты, фенолы (табл. 7). В воде истока реки зарегистрировано превышение нормативных показателей марганца. Критическими показателями загрязненности воды (КПЗ) в верхнем и нижнем течении являются фосфаты и железо, в среднем течении реки – фосфаты.

Основными загрязняющими веществами являются железо и фосфаты. Приоритетными загрязняющими веществами, максимально превышающими ПДК, являются на разных участках реки нитриты, фосфаты, медь, марганец, железо, фенолы. Максимальные величины ПДК характерны для фосфатов (18 ПДК), железа (7.6 ПДК), марганца (7 ПДК). Концентрации большинства из исследованных химических ингредиентов ниже ПДК или не превышают нормативные показатели более чем в 1.3-2.6 раза.

Водные массы реки имеют широкий диапазон минерализации – от 90 до 535 мг/дм³. Наибольшие значения (535 мг/дм³) характерны для среднего течения; вода в верхнем течении и в Усинском заливе менее минерализована (90-415 мг/дм³) по сравнению со средним участком и зонами смешения река–притоки. По соотношению главных ионов вода реки на всем протяжении относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Соответственно росту минерализации изменяется и жесткость воды: в верхнем участке вода характеризуется как очень мягкая, в среднем и нижнем – как умеренно жесткая.

Таблица 6. Состояние загрязнения воды в р. Уса. **Table 6.** The state of water pollution in the Usa River.

№ п/п	Наименование загрязняющих веществ и показателей загрязнения	Участок реки	Содержание за период наблюдений (в ПДК р/х)		
			Пределы колебаний		Среднее значение
			min	max	
1	Марганец	верхний	0.8	7.0	3.9
		средний	0.8	0.8	0.8
		нижний	0.8	0.8	0.8
2	Медь	верхний	0.5	2.6	1.6
		средний	2.0	2.6	2.3
		нижний	2.1	2.2	2.2
3	БПК ₅	верхний	0.5	0.6	0.6
		средний	0.5	0.6	0.6
		нижний	0.5	0.6	0.6
4	Азот нитритный	верхний	ПДК	2.6	1.8
		средний	1.2	3.3	2.3
		нижний	1.8	1.9	1.9
5	Цинк	верхний	0.5	0.9	0.7
		средний	0.6	0.7	0.7
		нижний	0.6	0.8	0.7
6	Фенолы	верхний	1.9	1.9	1.9
		средний	1.9	1.9	1.9
		нижний	1.9	1.9	1.9
7	Железо	верхний	1.1	7.6	4.4
		средний	1.2	4.8	3.0
		нижний	4.4	4.8	4.6
8	Нефтепродукты	верхний	0.5	0.7	0.6
		средний	0.6	0.8	0.7
		нижний	0.5	0.7	0.6
9	Азот аммонийный	верхний	0.1	0.9	0.5
		средний	0.1	0.2	0.2
		нижний	0.1	0.3	0.2
10	Фосфаты	верхний	8.0	18.0	13.0
		средний	1.4	13.0	7.2
		нижний	8.0	9.0	8.5
11	Растворенный кислород мг/л	верхний	7.7	7.9	7.8
		средний	7.6	7.8	7.7
		нижний	7.5	7.8	7.7
12	Хлорорганические пестициды	верхний	н/о	н/о	н/о
		средний	н/о	н/о	н/о
		нижний	н/о	н/о	н/о

Примечания к таблице 6: аналитическая обработка гидрохимических образцов воды произведена аккредитованной гидрохимической лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» г. Самара. **Notes to Table 6:** Analytical processing of hydrochemical samples was carried out by an accredited hydrochemical laboratory Center for Monitoring the Aquatic and Geological Environment, Samara.

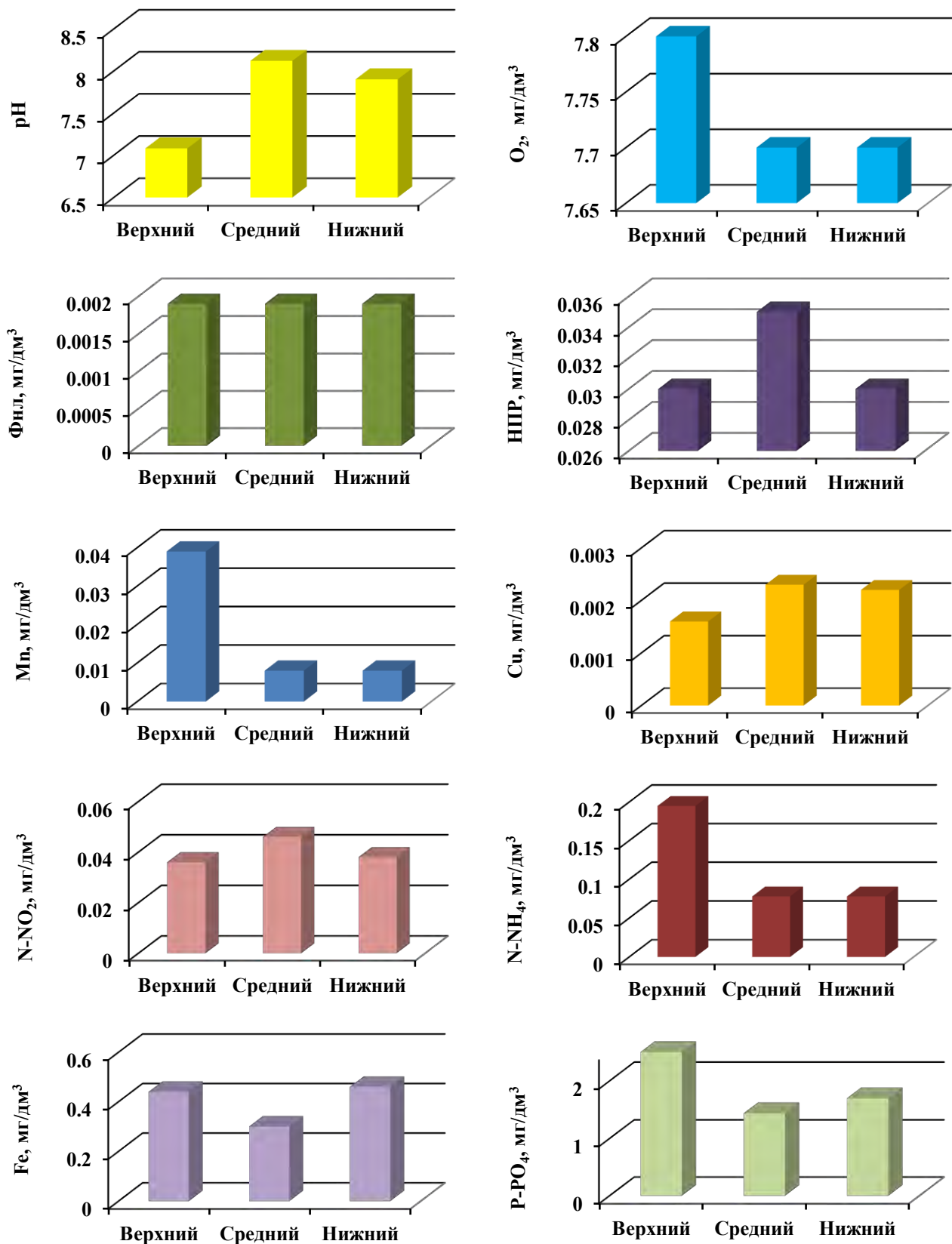


Рис. 2. Изменение концентраций химических элементов в воде на разных участках р. Уса в 2017-2018 гг. **Fig. 2.** Changes in chemical concentrations at different sites of the Usa River in 2017-2018.

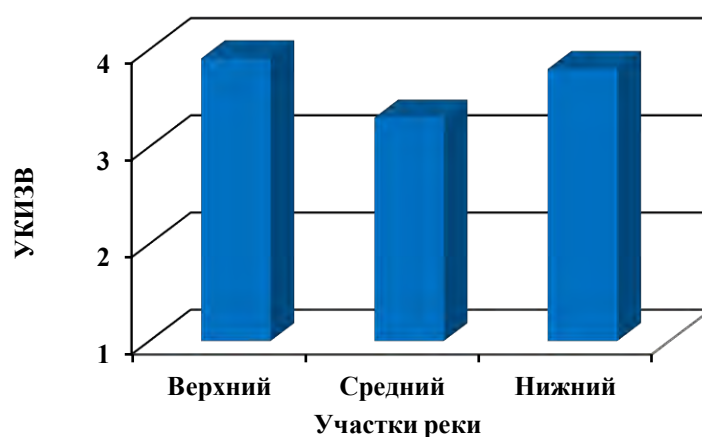


Рис. 3. Изменение величины индекса загрязнения воды (УКИЗВ) на участках р. Уса.
Fig. 3. Change in the value of the water pollution index in the Usa River.

Таблица 7. Характеристика качества воды р. Уса по химическим показателям.
Table 7. Characteristics of the water quality of the Usa River according to chemical indices.

Показатели качества	Участки		
	Верхний	Средний	Нижний
УКИЗВ	3.91	3.30	3.80
Класс, разряд	IV, «а»	III, «б»	IV, «а»
Характеристика качества воды	грязная	очень загрязненная	грязная
Приоритетные загрязняющие вещества, максимально превышающие ПДК	Cu (2.6), Fe (7.6), Mn (7.0), фосфаты (18.0), N-NO ₂ (1.3), фенолы (1.9)	Cu (2.6), Fe (4.8), фосфаты (13.0), N-NO ₂ (3.3), фенолы (1.9)	Cu (2.2), Fe (4.8), фосфаты (9.0), N-NO ₂ (1.9), фенолы (1.9)

Примечание к таблице 7: в скобках дано превышение ПДК. **Note to Table 7:** excess of MPC is given in the brackets.

Содержание растворенного кислорода на всем протяжении реки было удовлетворительным. Степень насыщения воды кислородом находилась в пределах 75-83% насыщения.

К биогенным элементам, определяющим уровень продуктивности реки, и присутствующих в концентрациях, превышающих ПДК, относятся: минеральный фосфор (до 18 ПДК), нитритный азот (максимум 3.3 ПДК). Содержание нитратного азота в несколько раз или на порядок ниже ПДК.

По уровню концентрации фосфатов р. Уса относится к эвтрофному типу природных водотоков.

Обобщенное экологическое состояние водных масс р. Уса по величинам концентрации приоритетных загрязняющих веществ (фосфаты), согласно критериям (Критерии оценки ..., 1992), относится к следующим категориям: в верхнем течении – «экологическое бедствие», в среднем и нижнем течении – «чрезвычайная экологическая ситуация» (табл. 7).

По накоплению микроэлементов, согласно коэффициенту донной аккумуляции (КДА – отношение величины концентрации вещества в грунтах к его содержанию в воде), состояние донных отложений изменяется от «относительно удовлетворительной экологической ситуации» до «чрезвычайной экологической ситуации» (табл. 8).

Величина КДА для меди и цинка находится в пределах $1.8 \cdot 10^3 - 6.5 \cdot 10^3$ и $1.4 \cdot 10^3 - 4.5 \cdot 10^3$, соответственно, что свидетельствует об «относительно удовлетворительной экологической ситуации» в грунтах по этим химическим показателям. По величине накопления железа ($4.4 \cdot 10^4 - 7.9 \cdot 10^4$) состояние осадков относится к классу «чрезвычайной экологической ситуации».

Таким образом, состояние экосистемы реки определяется особенностями водосборной площади, масштабом хозяйственного, бытового и сельскохозяйственного использования. Основными загрязняющими веществами на всем протяжении реки являются фосфаты и нитраты, что обусловлено смывом удобрений с водосборной площади в реку (табл. 1).

Таблица 8. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях р. Уса.

Table 8. Pollutants presence in the bottom sediments of the Usa River.

№ п/п	Загрязняющее вещество	Содержание, мг/кг	
		Диапазон колебаний	Среднее
1	Свинец	7.4	7.4
2	Железо	9500-14000	11960
3	Марганец	245-630	402
4	Медь	6.8-14.0	11.2
5	Цинк	11.5-29.3	23

Водные сообщества. Фитопланктон. Разнообразие и структура альгоценозов

Гидробиологическое состояние р. Уса включает данные анализа распределения структурных характеристик планктонных и донных сообществ, по которым можно оценить закономерность изменения экологических параметров водных масс, качество воды и степень загрязнения водоема. По результатам изменений численности и биомассы основных таксономических групп, используя разные методологические подходы оценки динамики гидробиологических показателей, выявляется их нестационарность и зависимость от гидрологических и гидрохимических факторов при комплексной оценке экологического состояния реки.

В фитопланктоне р. Уса зарегистрирован 201 таксон рангом ниже рода из 7 отделов водорослей (табл. 9). По числу видов в реопланктоне р.Уса преобладают Bacillariophyta (56% состава) и Chlorophyta (28%), а в лимнопланктоне Усинского залива соотношение ведущих отделов в альгофлоре изменяется за счет увеличения числа видов зеленых водорослей – Chlorophyta (45%), Bacillariophyta (24%). Доля Cyanoprokaryota изменяется от 4% в р. Уса до 12% в Усинском заливе.

В эколого-географическом отношении фитопланктон состоит из широко распространенных пресноводных форм, предпочитающих нейтральные и слабощелочные воды. К планктонным относится более 50% видов; значимую роль в альгофлоре реки играют обитатели бентоса и обрастаний (22 и 10% таксонов). В составе индикаторов органического загрязнения преобладают β -мезосапробы (45%), массовыми из которых являются

диатомовые *Fragilaria capucina* Desmaz., *Melosira varians* Ag., *Navicula tripunctata* (O.F.M.) Bory и зеленые водоросли *Monoraphidium irregulare* (G.M. Smith) Kom.-Legn.

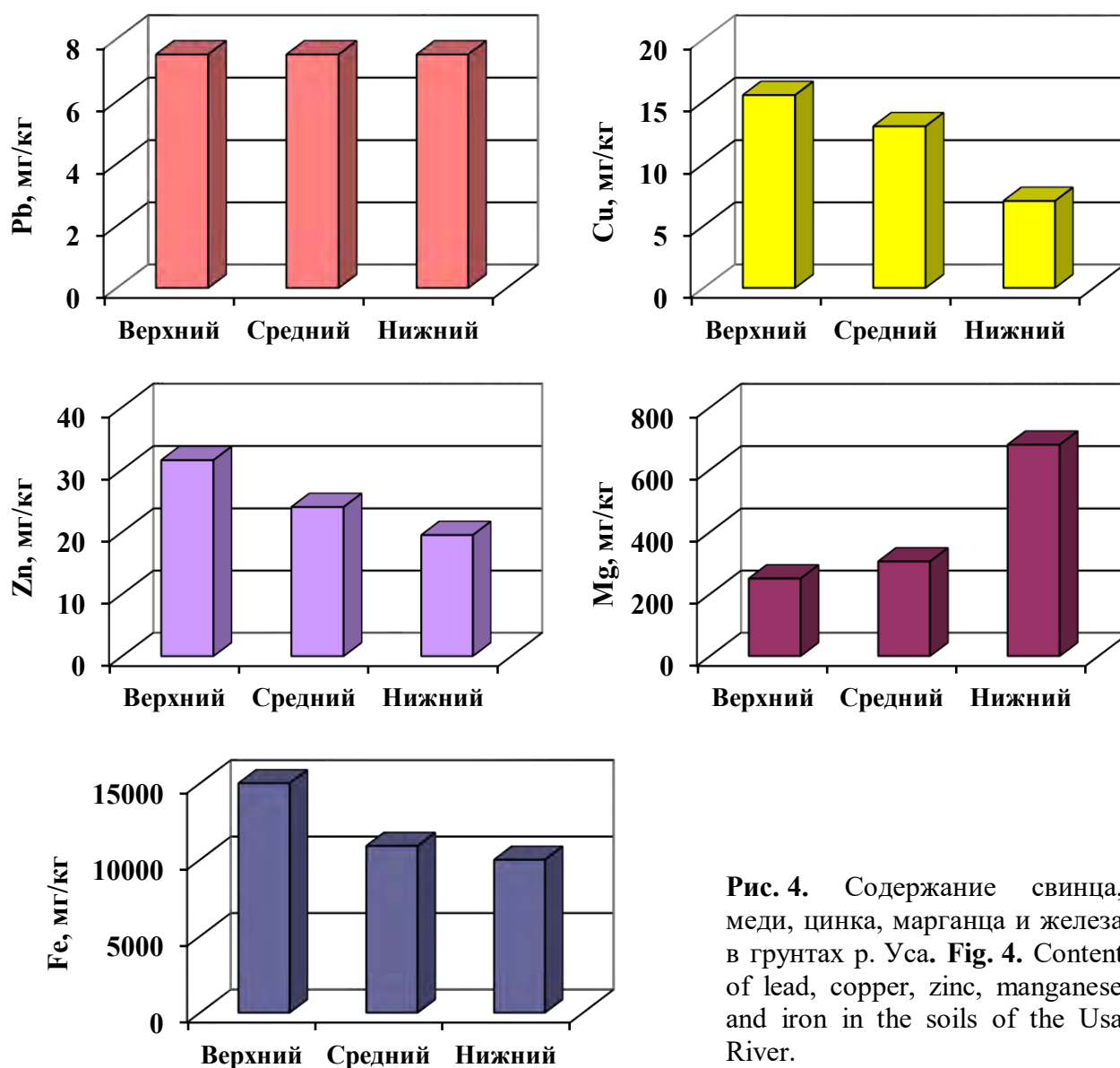


Рис. 4. Содержание свинца, меди, цинка, марганца и железа в грунтах р. Уса. **Fig. 4.** Content of lead, copper, zinc, manganese and iron in the soils of the Usa River.

Для р. Уса, нижнее течение которой представляет собой участок подпора водами Куйбышевского водохранилища, структурные показатели развития альгоценозов варьируют (табл. 10; рис. 5, 6), что связано с динамичностью гидрологических условий (глубиной, скоростью течения, прозрачностью), а также с биотопической неоднородностью водных масс (наличие устьевых участков в притоках, зоны экотона на участке река–залив).

Установлено увеличение видового разнообразия фитопланктона, численности, биомассы, концентрации хлорофилла-«а» от истока к устью реки. Характерной особенностью является выраженное увеличение количественных (численность, биомасса) и продукционных (содержание хлорофилла-«а») показателей, а также изменение структуры альгофлоры на участках смешения и трансформации водных масс в притоках на границе с рекой (пр. Муранка, Тишерек) и в самой реке в месте её подпора водами Куйбышевского

водохранилища – Усинский залив (рис. 6-7).

Особенностью развития фитопланктона в р. Уса является лидирующее развитие *диатомовых водорослей*, состав которых отличается на различных участках реки.

В верхнем и среднем течении реки развитие фитопланктона зависит прежде всего от светового режима. Значительная мутность воды при высоких скоростях течения и низкая освещенность русла под пологом леса приводят к тому, что, несмотря на высокое содержание биогенов, фитопланктон не сформирован или состоит из единичных и случайных форм (в основном Bacillariophyta), вынесенных из обрастаний и бентоса. Численность и биомасса водорослей, а также содержание хлорофилла-«а» в воде низкие. В тоже время, на песчаных и каменистых грунтах могут быть обильно развиты нитчатые формы из родов *Cladophora*, *Monostroma* (Chlorophyta), *Vaucheria* (Xanthophyta). На них развиваются диатомовые обрастания разнообразного состава (Cocconeis, Gomphonema, Symbella).

На участках среднего течения, в запрудах, а также на открытых местах, создаются условия повышенной освещенности и прозрачности. В таких биотопах наблюдается увеличение видового разнообразия. Развиты нитчатые формы водорослей в обрастаниях на субстрате. По величине биомассы фитопланктона состояние реки изменяется от олиготрофного на верхнем и среднем ее участках до мезотрофного. Ниже приводятся данные по структуре альгофлоры (табл. 9, 10).

Таблица 9. Таксономический состав фитопланктона р. Уса в 2017-2018 гг.

Table 9. Taxonomic composition of phytoplankton of the Usa River in 2017-2018.

Отделы	Число видов и внутривидовых таксонов
Bacillariophyta	85
Chlorophyta	70
Цианопроккариоты	17
Euglenophyta	12
Dinophyta	9
Cryptophyta	6
Chrysophyta	2
Всего	201

Величины индексов сапробности на всех станциях находились в пределах 1.19-2.46. В верхнем течении воды реки Уса по фитопланктону относятся к олигосапробным, «чистые воды». В среднем течении и в Усинском заливе, экологическое состояние водных масс характеризуется как «удовлетворительное» и «относительно удовлетворительное». По сапробности вода этих участков относится к β -мезосапробным, умеренно загрязненным, III класса качества. Это может свидетельствовать о процессах увеличения загрязнения реки органическими веществами и снижения самоочистительной способности реки в Усинском заливе.

Уровень биомассы и содержание хлорофилла-«а» в р. Уса и её притоках, в основном соответствуют олиго- мезотрофному состоянию водных масс. В летнем планктоне Усинского залива по данным 2017-2018 гг. биомасса и содержание хлорофилла-«а» значительно превосходят величины, характерные для реки и находятся в пределах эвтрофных значений.

Таблица 10. Основные структурные характеристики фитопланктона р. Уса в 2017-2018 гг.
Table 10. Main structural characteristics of phytoplankton of the Usa River in 2017-2018.

№	Показатели	Участки реки		
		Верхний	Средний	Нижний
1	Численность, млн. кл/л	0.02-0.48	0.47-0.83	6.10-14.84
2	Биомасса, мг/л	0.01-0.98	1.41-1.49	1.98-5.93
3	Индекс видового разнообразия Шеннона по численности	0.46-2.39	2.09-2.22	1.84-2.36
4	Индекс видового разнообразия Шеннона по биомассе	0.39-2.11	1.49-2.32	1.35-2.18
5	Индекс сапробности по численности	1.19-1.27	1.24-2.05	2.01-2.46
6	Индекс сапробности по биомассе	1.16-1.44	1.33-2.35	1.88-2.52
7	Зона сапробности	Олиго-сапробная	Олиго-β-мезосапробная	β-мезо-сапробная
8	Класс качества воды (по сапробности)	II – «чистая»	II-III – «чистая, умеренно загрязненная»	III – умеренно загрязненная
9	Экологическое состояние	Хорошее	Хорошее – удовлетворительное	Относительно удовлетворительное

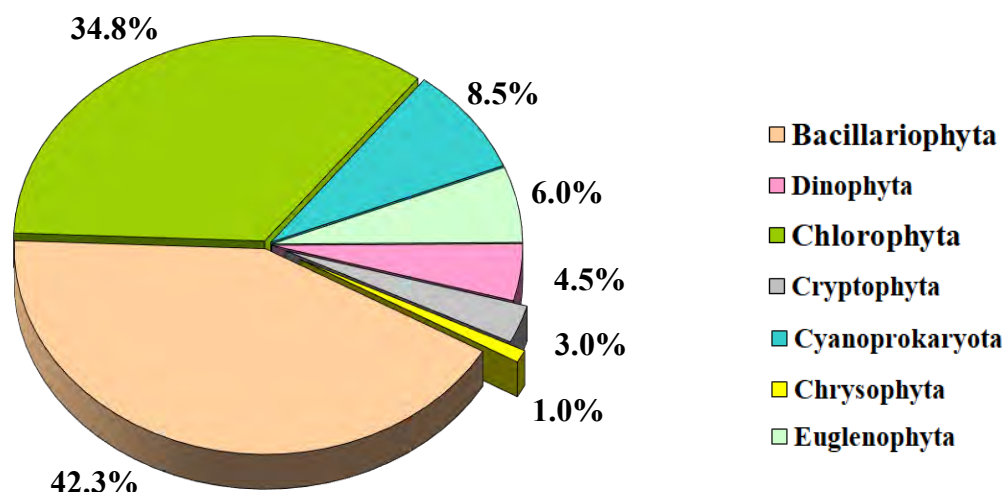


Рис. 5. Состав альгофлоры планктона р. Уса.
Fig. 5. Composition of plankton algaeflora in the Usa River.

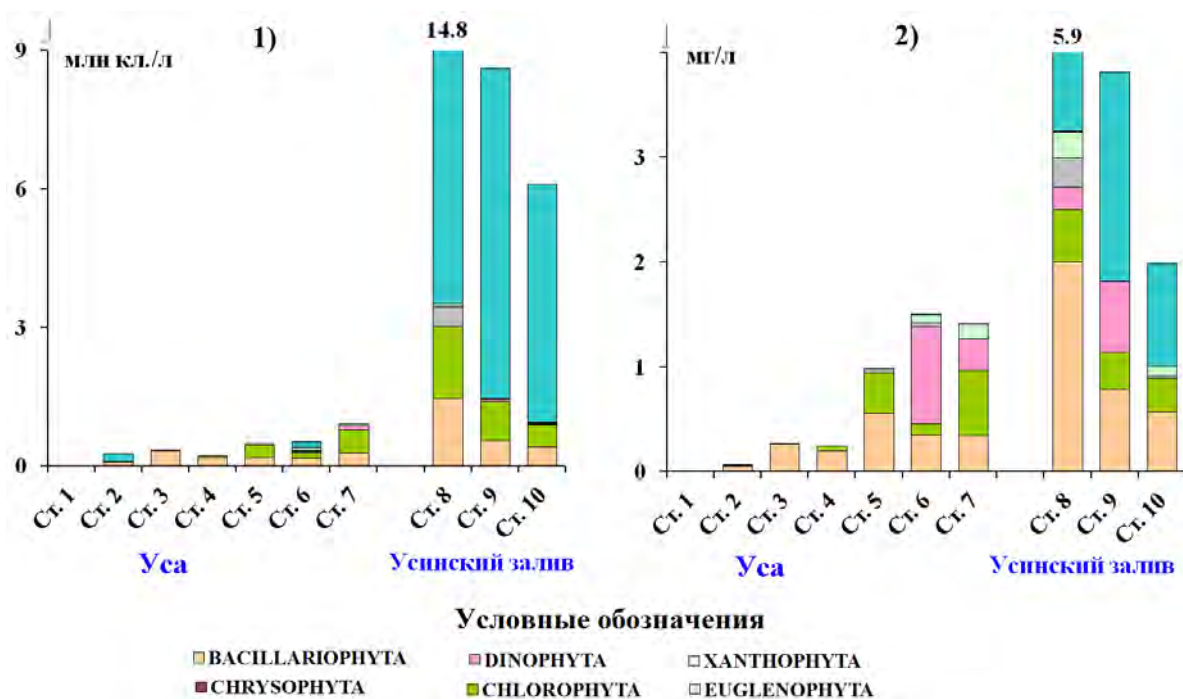


Рис. 6. Изменения численности (1) и биомассы (2) водорослей разных таксонов на станциях (ст) отбора проб р. Уса в 2017, 2018 гг. **Fig. 6.** Changes in the abundance (1) and biomass (2) of algae of different taxa at the sampling stations (ст) of the Usa River in 2017 and 2018.

Результаты исследований пространственного распределения фитопланктона в июле-августе 2017 года позволили установить особенности формирования планктонных альгоценозов в р. Уса.

В условиях высокого содержания основных биогенных элементов (N, P) в воде р. Уса и ее притоках, факторами, влияющими на распределение, характер и степень развития фитопланктона являются гидрологические – скорость течения, прозрачность, температура. Корреляционный анализ выявил наличие достоверных связей ($P \leq 0.05$) между скоростью течения и такими показателями как: концентрация хлорофилла-«а», численность, удельное число видов и биомасса фитопланктона ($r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$, $r = -0.79$).

Выявлена динамика структуры альгоценозов рек от истока к устью, которая характеризуется неравномерным распределением численности и биомассы, что обусловлено в значительной степени биотопическим разнообразием и абиотическим воздействием. Для реки Уса характерна континуальность распределения численности и биомассы фитопланктона (рис. 7). В связи с эвтрофированием и повышенным содержанием концентрации фосфора ($P_{\text{общ}}$) на всех участках реки, в результате мощного смыва удобрений с сельскохозяйственных полей, зарегистрированы изменения видового состава и количественного развития фитопланктона, которые выразились в значительном увеличении численности миксотрофных фитофлагеллят – индикаторов органического загрязнения и увеличения количества фитопланктона.

В Усинском заливе (рис. 7) наблюдается значительное увеличение содержания хлорофилла-«а», численности фитопланктона, а также развитие видов, доминирующих в Волжских водохранилищах, например таких как *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Microcystis wesenbergii* Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Anabaena flos-aquae f. flos-aquae* (Lyngb.) Breb.

Таким образом, таксономический состав на каждом из участков реки специфичен и формируется в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с воздействующими природными и антропогенными факторами.

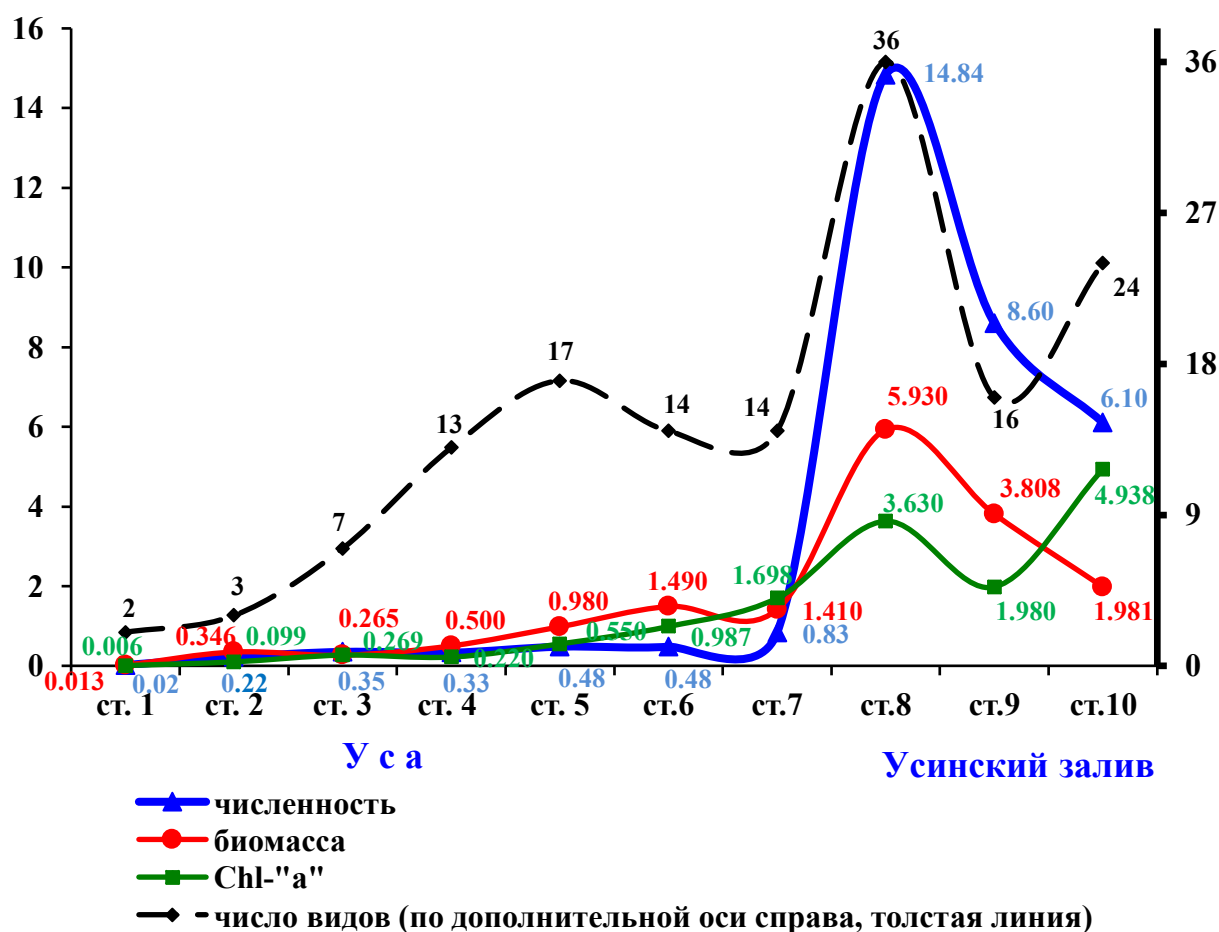


Рис. 7. Динамика суммарной численности и биомассы, содержания хлорофилла-«а» и удельного числа видов в альгоценозах планктона на станциях (ст) отбора проб р. Уса в 2017, 2018 гг. **Fig. 7.** Dynamics of the total abundance and biomass, the content of chlorophyll-«a» and the specific number of species in algocenoses of plankton at the sampling stations (ст) of the Usa River in 2017 and 2018.

Сообщества зоопланктона: структурные особенности сообществ зоопланктона, состав и распределение

За период летних исследований в 2017-2018 гг. в р. Уса зарегистрировано 45 видов зоопланктона, в том числе 28 – коловраток, 13 – ветвистоусых раков и 4 вида веслоногих ракообразных (в том числе 3 – циклопоида и 1 – каланоида). Наибольшее число видов отмечено на среднем участке реки и в притоках, где обнаружено 13 видов, из которых по численности преобладают копеподитные стадии циклопов (470 экз./м³). Таксономический состав в целом типичен для равнинных рек и представлен фитофильными видами коловраток родов *Cephalodella* Bory de St.Vincent, 1826, *Lepadella* Bory de St.Vincent, 1826, *Testudinella*, Bory de St.Vincent, 1822, *Epiphanes senta* (Müller, 1773), *Mytilina mucronata* (Müller, 1773) и др. и ракообразных – *Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820), *Simocephalus serrulatus* (Koch, 1841), а

также планктобентосными видами и таксонами (коловратки *Bdelloidea*, Hudson, 1884, ветвистоусые ракообразные рода *Alona* Baird, 1843). На разных участках преобладающими в летний период являются коловратки, представители родов и видов *Synchaeta* Ehrenberg, 1832, *Brachionus* Pallas, 1766, *Euchlanis* Ehrenberg, 1830, *Asplanchna priodonta*, Gosse, 1850, *Platyias quadricornis* Ehrenberg, 1832; ветвистоусые ракообразные *Chydorus sphaericus* (Müller, 1776) и циклопы *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853).

Видовой состава реки Уса и ее притоков характеризуется локальной спецификой, связанной с градиентом условий среды и отмеченным композиционным структурным единством. На всем протяжении показатели численности и биомассы зоопланктона зависят от комплекса гидроэкологических условий и изменяются в широких пределах (рис. 8). Минимальные их значения (400 экз./м^3 ; 1.26 мг/м^3) характерны для верхнего проточного участка реки и обусловлены развитием коловраток; максимальные величины (750 экз./м^3 ; 2.6 мг/м^3) – в зоопланктоне участка реки, расположенного в нижнем течении. Биомасса на различных участках реки варьирует от 0.2 мг/м^3 до 3.5 мг/м^3 . В устьевой области реки обилие зоопланктона достигает $0.25 \text{ млн.экз./м}^3$, а биомасса – 1.5 г/м^3 . Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены на глубоководном участке реки, в месте смешения вод реки Уса и Куйбышевского водохранилища, где биомасса зоопланктона может превышать 5.4 г/м^3 , что указывает на неоднородность водных масс.

Основу численности составляют веслоногие ракообразные, а биомассы – ветвистоусые ракообразные – *Daphnia galeata* Sars 1864. Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности и биомассе гидробионтов в зоопланктоне всей реки имеет сходные величины – 2.9-3.1 бит/экз. На всем протяжении реки по составу и количественным показателям зоопланктона водоток относится к β -мезосапробной зоне (по индексам сапробности). В среднем течении локально отмечены загрязненные участки за счет высокой численности мезосапробных видов.

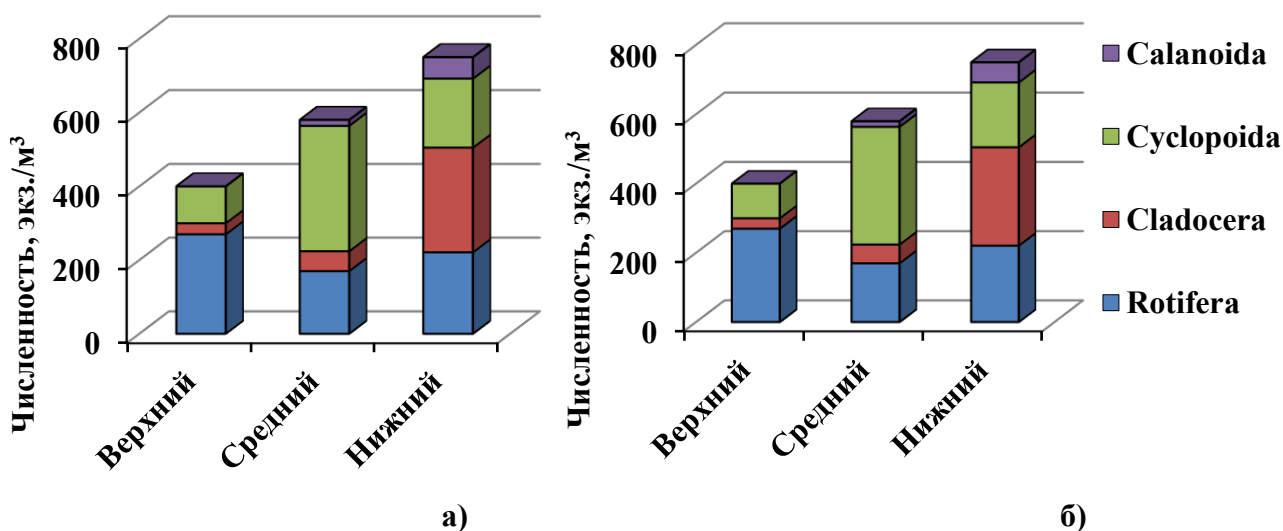


Рис. 8. Распределение численности (а) и биомассы (б) зоопланктона на различных участках р. Уса в 2017-2018 г. **Fig. 8.** Distribution of the abundance (а) and biomass (б) of zooplankton in various areas of the Usa River in 2017-2018.

По комплексу показателей (индекс видового разнообразия, сапробность, численность, биомасса) вода реки относится к III классу качества («умеренно-загрязненная»). В Усинском заливе класс качества воды изменяется от III до IV («умеренно-загрязненная» –

«загрязненная»); табл. 11).

Экологическое состояние реки Уса на всем ее протяжении по показателям зоопланктона характеризуется как относительно удовлетворительное (табл. 11).

Таблица 11. Основные структурные характеристики сообществ зоопланктона р. Уса летом 2017-2018 гг. **Table 11.** Main structural characteristics of zooplankton communities of the Usa River in summer of 2017-2018.

№	Показатели	Участки реки		
		Верхний	Средний	Нижний
1	Численность, экз./м ³	400	580	750
2	Биомасса, мг/м ³	1.26	2.12	2.6
3	Доминирующие виды	<i>Euchlanis</i> sp., <i>Chydorus sphaericus</i>	<i>Euchlanis</i> sp., <i>Brachionus</i> sp., <i>Asplanchna priodonta</i> , <i>Chydorus sphaericus</i>	<i>Daphnia galeata</i> , <i>Synchaeta</i> sp., <i>Thermocyclops crassus</i>
4	Соотношение основных групп, % (численность/биомасса): коловратки ветвистоусые веслоногие каланиды	67.5 / 39.7 7.5 / 7.1 25.0 / 53.2 –	29.3 / 29.8 9.3 / 31.9 58.7 / 35.8 2.7 / 2.5	29.4 / 2.7 37.8 / 68.7 25.0 / 21.1 7.8 / 7.5
5	Индексы видовой разнообразия Шеннона (численность/биомасса)	2.9 / 3.1	2.6 / 2.7	2.7 / 2.7
6	Индексы сапробности (численность)	1.7	1.73	1.56
7	Зона сапробности	β-мезосапробная	β-мезосапробная.	β-мезосапробная
8	Класс качества воды	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная	III-IV – умеренно загрязненная – загрязненная
9	Экологическое состояние	Относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное

Для выявления и анализа структурных характеристик сообществ зоопланктона в 2017 г. проведено гидролого-гидрофизическое изучение реки Усы на всем ее протяжении (кондуктометрическое вертикальное профилирование), которое показало выраженную неоднородность водных масс с учетом притоков (рис. 9). Установлено, что в нижнем течении реки происходит смешение речных (~530 мкСм/см) и водохранилищных (370 мкСм/см) вод.

Значимые отличия в температуре воды, ее прозрачности и электропроводности позволили определить границы устьевой области относительно зоны свободного течения реки (I) с одной стороны и водохранилища (III) с другой. С учетом этого и принимая во внимание режим регулирования стока, выполнено гидроэкологическое районирование устьевой области и выделены две основные зоны – переменного (IIa) и стабильного (IIб) подпора (рис. 10). Особенностью зоны переменного подпора является нестабильность и пульсация водной массы с суточным/недельным ходом, что наряду с малыми глубинами определяет постоянное и полное перемешивание речных и водохранилищных вод. Зона стабильного подпора в силу больших глубин отличается повышенным постоянством водных масс, установлением глубинного слоя «мертвого объема», мало подверженного техногенному регулированию уровня водохранилища.

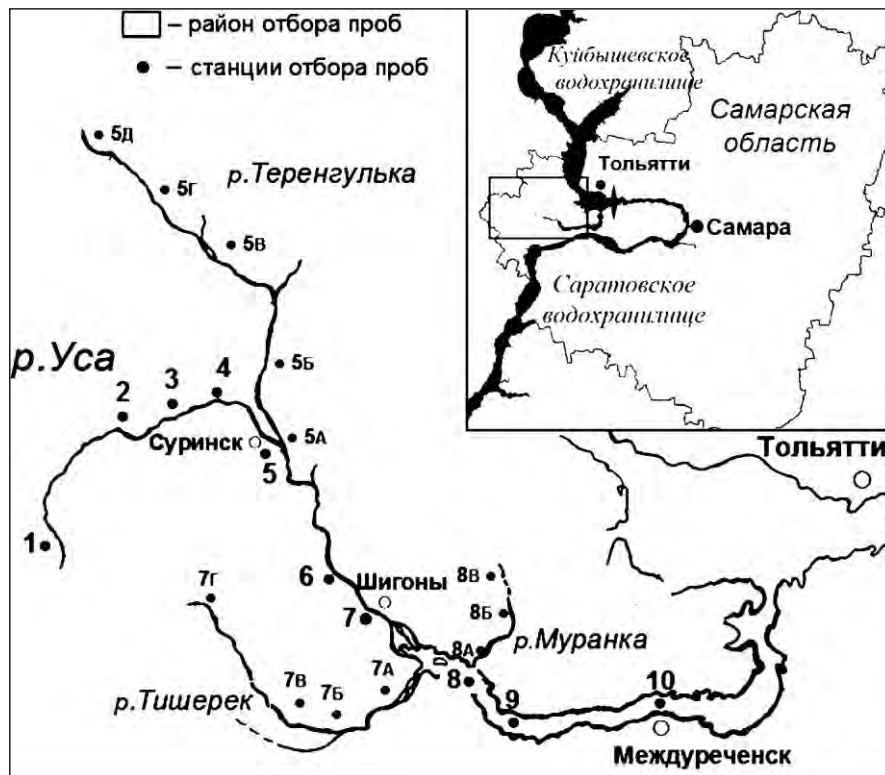


Рис. 9. Схема района исследований р. Усы и притоков с указанием станций отбора проб зоопланктона. **Fig. 9.** Schematic map of the research area of the Usa River and its tributaries with marked zooplankton sampling stations.

Классификация сообществ по видовому составу позволяет выделить основные ландшафтно-гидроэкологические кластеры, а именно, среднее и нижнее течения р. Усы и водохранилище, низовья, среднее течение и верхние участки притоков. При этом видовой состав сообществ зоопланктона характеризуется мозаичностью распределения, что особенно выражено в малых притоках Усы. Так, реки, впадающие в р. Уса, характеризуются локальной спецификой структуры сообществ зоопланктона в условиях сходного гидроэкологического режима. Например, в верхнем течении рек ценозы доминирующих видов зависят от конкретных экологических условий: в биотопах с растительностью доминируют коловратки родов *Euchlanis*, *Platyias quadricornis* и кладоцера *Chydorus sphaericus* (пр. Муранка и Теренгулька), на быстротекущих участках и в заводях преобладают ракообразные – *Daphnia pulex* Leydig, 1860, неполовозрелые циклопы, ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2023, том 7, № 2

Eucyclops serrulatus Fischer, 1851. В среднем течении доминируют главным образом коловратки родов *Euchlanis*, *Brachionus*, *Asplanchna* и *Synchaeta* и неполнозрелые циклопы. Доминантами сообществ низовьев рек являются преимущественно ветвистоусые ракообразные, в т.ч. индикаторы мезо-эвтрофных вод – *Ceriodaphnia pulchella* Sars, 1862, *Chydorus sphaericus*, иногда коловратки рода *Synchaeta*.

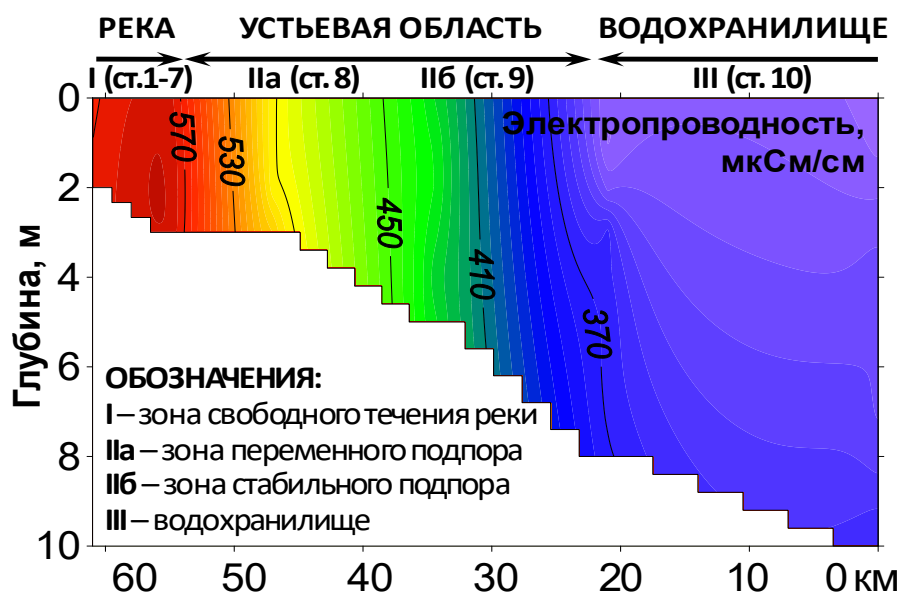


Рис. 10. Вертикальный профиль электропроводности воды на участке нижнего течения р. Усы в зоне смешения речных и водохранилищных вод. **Fig. 10.** Vertical profile of the water electrical conductivity in the lower reaches of the Usa River in the area where river and reservoir waters meet.

Особенности гидрологического режима устьевой области определяют распределение зоопланктона, характеризующееся его минимальным количественным развитием в реке (0.015 г/м^3) и максимальным – в водохранилище (14.5 г/м^3). Эти особенности распределения устойчивы в разные годы, в т.ч. в вегетационный период 2017 года, отличающийся от среднемноголетней нормы высоким количеством атмосферных осадков и пониженной температурой воздуха. В 2017-2018 гг. отмечены сходные черты пространственной организации сообществ зоопланктона незарегулированного участка реки, устьевой области и водохранилища. При этом своеобразным положением отличается сообщество зоны переменного подпора, т.е. зона смешения речных и водохранилищных вод (рис. 11 Па), подверженного влиянию суточных колебаний уровня водохранилища. Устьевая область (рис. 11) отличается от граничащих систем реки и водохранилища доминированием ветвистоусых или веслоногих ракообразных, в т.ч. индикаторов мезоэвтрофных условий водных масс.

Оценка вертикального распределения зоопланктона с учетом данных объективного контроля позволила установить границу контакта опресненных и прогретых речных и более минерализованных и холодных грунтовых вод на глубине 3 м, формируя фронтальную поверхность раздела водных сред (рис. 11). При этом в области смешения вод устойчиво отмечается повышенное видовое богатство зоопланктона, его максимальное обилие и продукция. Вероятная причина локализации разнообразия, повышенной биомассы и продукции сообщества зоопланктона на границе двух слоев воды – плотностная

стратификация. Как известно, повышение электропроводности происходит при увеличении минерализации воды, что наряду с меньшими температурами способствует возрастанию ее плотности и вязкости. В этом случае граница трансформированных грунтовых вод служит так называемым «вторым дном», на котором задерживается часть седимента и лабильная часть органических веществ, о чем косвенно свидетельствуют максимальные значения индекса сапробности на границе контакта вод (рис. 11). В результате в этой зоне формируется богатая кормовая база, создающая благоприятные условия для развития разнообразного и обильного зоопланктона.

Сообщества зоопланктона трансформированных речных и грунтовых вод, а также зоны их смешения различаются своеобразием видовой структуры с характерным комплексом доминантов. Так, относительно граничащих горизонтов в зоне смешения вод наибольшую ценотическую роль играют преимущественно науплиусы циклопов, хищная *Asplanchna priodonta*, а также рачки *Thermocyclops crassus* Fischer, 1853 и *Chydorus sphaericus* – индикаторы мезоэвтрофных условий среды. Статистическое тестирование учтенных факторов среды подтверждает наше предположение об определяющем характере связи особенностей вертикального распределения зоопланктона на участке стратификации с плотностью воды (NMDS: $R^2 = 0.983$, $p_{(permut)} = 0.024$).

Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены на глубоководном участке «река Уса – Куйбышевское водохранилище», где численность и биомасса зоопланктона достигают 0.4 тыс. экз./м³ и 5.4 г/м³ с преобладанием *Daphnia galeata* Sars, 1864.

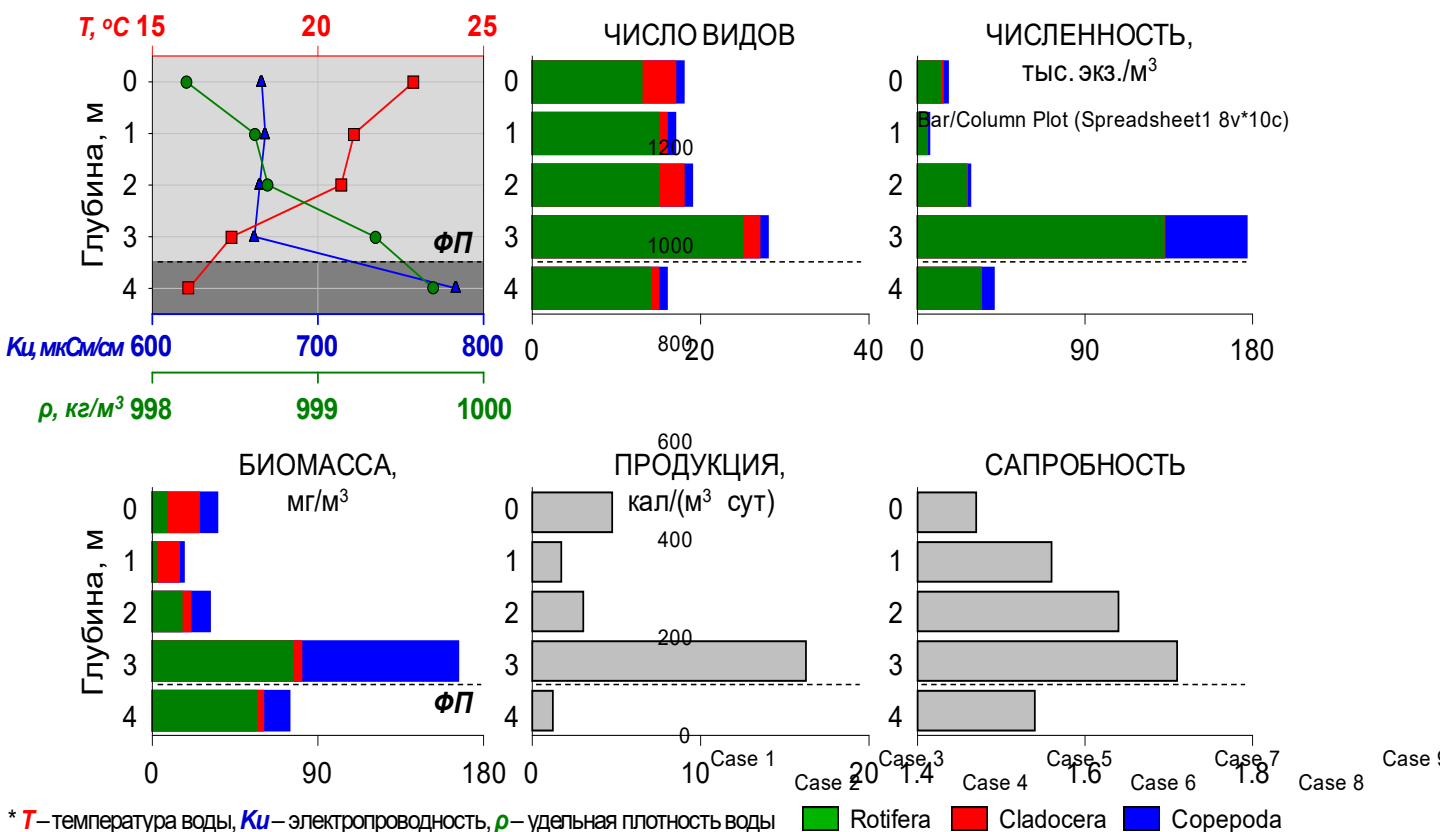


Рис. 11. Вертикальное распределение физико-химических характеристик воды и зоопланктона участка стратификации вод в притоке р. Уса. **Fig. 11.** Vertical distribution of physico-chemical characteristics of water and zooplankton at the water stratification site in the tributary of the Usa River.

Таким образом, видовое богатство зоопланктона реки возрастает от истока к устью в условиях развития зоопланктеров в мезо-эвтрофных водных массах. Изменчивость гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов по типу экоклина.

Следует отметить, что в устьевой зоне реки впервые для бассейна Куйбышевского водохранилища зарегистрирована коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) – обитатель водоемов северных широт. Находка вида-вселенца в бассейне р. Уса соответствует южной границе ареала вселенца в пределах бассейна Средней Волги.

Сообщества макрозообентоса: разнообразие, структурные и количественные изменения, индикация качества воды

За период исследований (2017-2018 гг.) в составе донных сообществ в р. Уса было зарегистрировано 127 видов гидробионтов. Ведущей по видовому составу группой организмов являются двукрылые, из которых наибольшим числом видов (50) представлены личинки хирономид (Chironomidae). Из других таксономических групп зообентоса зарегистрировано 20 видов малощетинковых червей (олигохет), 13 – моллюсков, 12 – личинки прочих двукрылых (мух, цератопогонид), 7 – ракообразных, 7 – поденок, 5 – ручейников, 3 – клопов, по 1 – веснянок и стрекоз. В составе донных сообществ отмечены также 8 представителей мейобентоса – водяных клещей, нематод и паукообразных (табл. 12; рис. 12). Таксономическое богатство макрозообентоса на участках реки в значительной степени обусловлено биотопическим разнообразием. Так, в истоке реки каменистые биотопы перемежаются заиленными почвами и песком, в верхнем течении преобладают гравийно-песчанистые грунты, а в среднем и нижнем участках – заиленные пески, часто с примесью растительных остатков и ракуши; серые илы и заиленная глина с песком.

Таблица 12. Таксономический состав зообентоса р. Уса (на побережье и русле) в весенне-летний период 2017-2018 гг. **Table 12.** Taxonomic composition of zoobenthos of the banks and riverbed of the Usa River in the spring-summer of 2017-2018.

Таксоны	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
Oligochaeta	10	10	11
Hirudinea	1	1	1
Chironomidae	33	28	25
Plecoptera	1	–	–
Ephemeroptera	7	4	2
Trichoptera	4	1	2
Coleoptera	6	1	-
Insecta*	9	6	2
Crustacea	2	–	5
Mollusca	7	6	2
Прочие (клещи, пауки, нематоды)	8	1	1
Всего видов	88	58	51

Примечание к таблице 12: * – личинки двукрылых (кроме хирономид) и стрекоз, клопы.
Note to the table: * – larvae of Diptera (excluding Chironomids) and dragonfly, Hemiptera.

В верхнем участке р. Уса установлено 88 видов и таксонов (табл. 12), среди которых преобладают литореофильные формы бентоса (обитатели каменистых грунтов на участках с быстрым течением): личинки хирономид, поденки, ручейники, веснянки. Впервые для рек Волжского бассейна зарегистрированы реофильные поденки *Paraleptophlebia cincta* Ritzius, 1783 и хирономиды *Guttipelopia guttipennis*, Wulp, 1874. Средняя численность макрозообентоса составила 2521 экз./м², биомасса – 7.0 г/м². Основа численности представлена личинками хирономид (55% от суммарной численности бентоса), малощетинковыми червями (16%) и отрядами поденок, ручейников и веснянок (9%; табл. 12; рис. 12). В 2017-2018 гг. по численности в верховьях реки преобладали реофильные личинки хирономид *Micropsectra* gr. *praecox* Meigen, 1818, поденки *Baetis rhodani* Pictet, 1843, комары-болотницы *Dicranota bimaculata* (Schummel, 1829), а также на отдельных участках в заводях отмечены скопления пелофильных олигохет *Tubifex tubifex* (Müller, 1774).

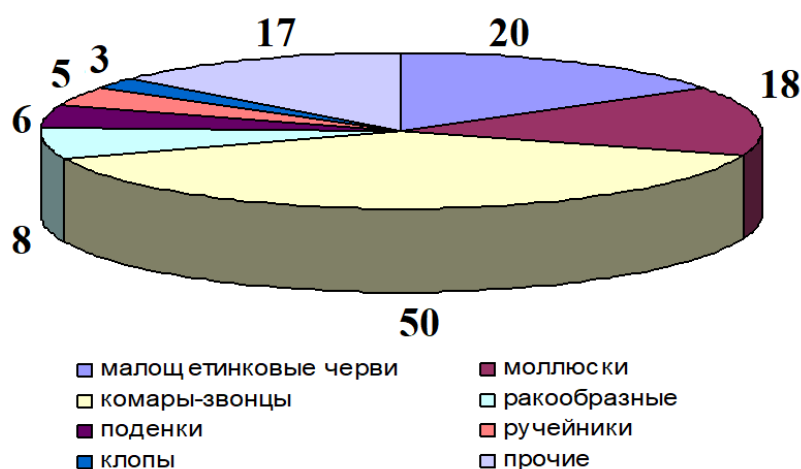


Рис. 12. Таксономический состав зообентоса р. Уса в 2017-2018 гг.

Fig. 12. Taxonomic composition of zoobenthos of the Usa River in 2017-2018.

В среднем участке реки в составе сообществ макрозообентоса отмечено 58 таксонов и видов с доминированием эврибионтных олигохет *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862, *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) и личинок хирономид *Polypedilum scalaenum* (Schrank, 1803), *Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch, 1915) На стрежневых участках в растительных остатках преобладают фитореофильные хирономиды – *Orthocladius oblidens* (Walker, 1856).

Средняя численность бентоса составила 730 экз./м², достигая 1170 экз./м², а биомасса – 0.98-1.71 г/м². По составу бентоса участок среднего течения характеризуется развитием личинок хирономид (47%) и олигохет (34%), а поденки и ручейники составляют 6% (табл. 12, 13). Снижение численности и разнообразия зообентоса в среднем течении обусловлено развитием малощетинковых червей на серых илах при возрастающем загрязнении реки фосфатами в районе с. Шигоны.

В нижнем течении в зоне подпора водами Куйбышевского водохранилища таксономический состав донных сообществ снижается, тогда как возрастает численность пелофильных гидробионтов – до 6463-15200 экз./м² за счет развития эврибионтных видов хирономид: *Cladotanytarsus mancus*, *P. nubeculosum*, *Chironomus plumosus*, *Dicrotendipes nervosus* и олигохет *L. hoffmeisteri* (табл. 12, 13; рис. 13).

Ранее мы показали, что при анализе многомерных методов статистической обработки данных оценки распределения макрозообентоса от истоков к устью р. Уса был установлен продольный градиент абиотических факторов, определяющий развитие донных сообществ, а

также была дана оценка характера пространственного распределения видов бентоса (Зинченко и др., 2017; Шитиков, Зинченко, 2018). Как видно, в 2017-2018 гг. характер пространственного распределения структуры, численности и биомассы донных сообществ на участках реки свидетельствует о возрастании количественных показателей гидробионтов в нижнем течении (рис. 13), в т.ч. за счет распространения чужеродных видов (табл. 13).

Таблица 13. Видовой состав чужеродных видов зообентоса в Усинском заливе в 2017-2018 гг.
Table 13. Species composition of alien zoobenthos species in the Usinsk Bay in 2017-2018.

Таксоны	Русло	Прибрежье
Polychaeta		
<i>Hypania invalida</i> (Grube, 1860)	+	+
Oligochaeta		
<i>Potamothrix vej dovskyi</i> (Hrabě, 1941)	+	–
Crustacea		
<i>Chaetogammarus warpachowskyi</i> (G.O. Sars, 1894)	–	+
<i>Pontogammarus maeoticus</i> (Sowinsky, 1894)	–	+
<i>P. robustoides</i> (G.O. Sars, 1894)	–	+
<i>P. obesus</i> (G.O. Sars, 1896)	+	–
<i>Paramysis ullskyi</i> Czerniavsky, 1882	–	+
<i>P. lacustris</i> (Czerniavsky, 1882)	–	+
<i>P. intermedia</i> (Czerniavsky, 1882)	–	+
<i>Katamysis warpachowskyi</i> (G.O. Sars, 1893)	–	+
<i>Pterocuma sowinskyi</i> (G.O. Sars, 1894)	–	+
Mollusca		
<i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)	+	+
<i>D. polymorpha</i> (Pallas, 1771)	+	+
<i>Monodacna colorata</i> (Eichwald, 1829)	–	+
<i>Lithoglyphus naticoides</i> (Preiffer, 1828)	–	+
Всего таксонов – 15	5	13

Наиболее восприимчивы к инвазиям зарегулированные водотоки и участки, характеризующиеся динамичностью абиотических условий, т.е. заливы и устья рек. В 2017-2018 гг. в донных сообществах Усинского залива зарегистрировано 15 видов-вселенцев (табл. 13), из которых 9 представлены ракообразными понто-каспийского комплекса (4 – Mysidacea, 4 – Amphipoda, 1 – Cumacea), 4 – двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, также были обнаружены полихеты *Hypania invalida* (Grube, 1860) и олигохеты *Potamothrix vej dovskyi* (Hrabě, 1941). В устьевом участке р. Уса зарегистрирован 1 чужеродный вид – амфиподы *Dikerogammarus caspius* (Pallas, 1771). В прибрежной зоне выявлено 11 видов вселенцев Понто-Каспийского комплекса (Курина, 2014, 2018). По данным за 2009-2017 гг., в заливе зарегистрировано 15 чужеродных видов (Курина, 2020). В 2018 г. список вселенцев залива пополнился каспийскими амфиподами *Chaetogammarus warpachowskyi* (G.O. Sars, 1894) и кумовыми раками *Pterocuma sowinskyi* (G.O. Sars, 1894), которые также широко распространены в Куйбышевском водохранилище и продолжают распространение вверх по течению р. Волга. Подавляющее большинство чужеродных видов обитает в прибрежной зоне залива, а в русловой части встречается единично (Курина, 2018).

Наиболее важными факторами распространения гидробионтов в донных сообществах р. Уса являются насыщение кислородом, содержание общего фосфора и общая минерализация воды, что обуславливает общий характер распределения сообществ бентоса в условиях локальных биотопических и сезонных изменений (Шитиков, Зинченко, 2018).

Ниже дается оценка качества воды и общего экологического состояния реки по состоянию донных сообществ.

Индекс видового разнообразия Шеннона для донных сообществ верхнего течения реки Уса изменялся в пределах 1.5-3.1 бит/экз., для сообществ бентоса среднего течения – 1.9-3.5 бит/экз., для участка нижнего течения – 1.9-3.3 бит/экз., что соответствует показателям среднего и высокого разнообразия на всех участках реки.

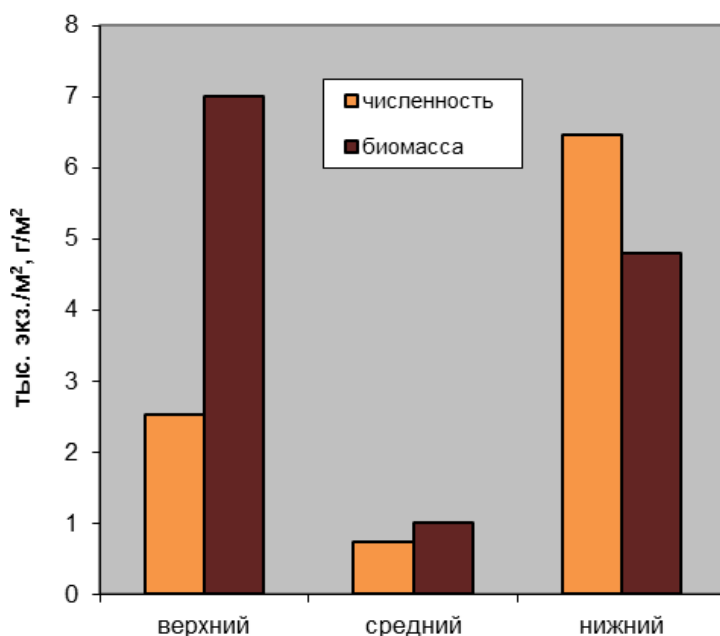


Рис. 13. Изменение численности и биомассы зообентоса на различных участках р. Уса в 2017-2018 гг. **Fig. 13.** Changes in the population and biomass of zoobenthos in various parts of the Usa River in 2017-2018.

По составу донного населения побережья (ритрала) и глубоководных участков (медиали) верхний участок реки относится преимущественно к олигосапробной и β -мезосапробной зоне. Сапробность в побережье среднего течения р. Уса изменялась от олигосапробной до полисапробной, в русле – от β -мезосапробной до полисапробной. Нижний участок реки в побережье характеризовался как олигосапробный, а в русле – как α -мезосапробный и полисапробный (табл. 14).

Качество воды верхнего участка реки, оцениваемое по показателям индекса Вудивисса, находилось в пределах II-III классов, т.е. «чистая» – «умеренно загрязненная». В среднем течении качество воды прибрежных участков характеризовалось как «чистая» – «грязная» (II-V классы); в русле оно изменялось от «умеренно загрязненная» до «вода грязная» (III-V классы); в нижнем течении прибрежная зона оценивалась II-IV классами, т.е. «чистая» – «загрязненная», а качество воды на глубоководных участках соответствовало V классу – «грязная».

Экологическое состояние р. Уса, оцениваемое по состоянию сообществ макрозообентоса в побережье верхнего, среднего и нижнего участков, «относительно удовлетворительное»

(табл. 14), тогда как локально, на русловых участках, вода соответствует зоне «экологического кризиса» (Критерии ..., 1992).

Таблица 14. Основные структурные характеристики и оценка экологического состояния р. Уса по зообентосу в 2017-2018 гг. **Table 14.** Main structural characteristics and assessment of the ecological state of the Usa River by zoobenthos in 2017-2018.

№	Показатели	Участок реки		
		Верхний	Средний	Нижний
1	Численность, экз./м ² :			
	средняя	2521	730	6463
	максимальная	11750	1170	15200
2	Биомасса, г/м ² :			
	средняя	7.0	0.98	4.8
	максимальная	20.3	1.71	11.1
3	Доминирующие виды, группы (по численности)	личинки хирономид <i>Micropsectra</i> gr. <i>praecox</i> , поденки <i>Baetis rhodani</i> , лимонииды <i>Dicranota bimaculata</i> , малощетинковые черви <i>Tubifex tubifex</i>	малощетинковые черви <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Tubifex tubifex</i> , личинки хирономид <i>Polypedilum scalaenum</i> , <i>Orthocladius oblidens</i>	личинки хирономид <i>Polypedilum tubeculosum</i> , <i>Chironomus plumosus</i> , <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
4	Индекс видового разнообразия Шеннона (мин./макс.)	2.8 -3.1 / 1.5	2.5-3.5 / 1.9-2.9	1.9-3.2 / 3.3
5	Биотический индекс Вудивисса (прибрежье/русло)	6-9 / 6	2-7 / 3-6	4-7 / 3
6	Индекс сапробности по численности видов (прибрежье/русло)	1.0-1.6 / 1.8	1.5-3.6 / 1.7 -3.8	1.4-2.9 / 3.7
7	Зона сапробности (прибрежье/русло)	олигосапробная – β-мезосапробная / β-мезосапробная	олигосапробная – полисапробная / β-мезосапробная – полисапробная	олигосапробная – α-мезосапробная / полисапробная
8	Олигохетный индекс, % (прибрежье/русло)	0-48 / 15	19-38 / 0-16	1-12 / 5
9	Класс качества воды (по индексу Вудивисса) (прибрежье/русло)	II-III: чистая – умеренно загрязненная / III: умеренно загрязненная	II-V: чистая – грязная / III-V: умеренно загрязненная – грязная	II-IV: чистая – загрязненная / V: грязная
10	Экологическое состояние водотока (прибрежье/русло)	Относительно удовлетворительное / относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное – зона экологического кризиса / зона экологического кризиса	Относительно удовлетворительное/ зона экологического кризиса

Можно констатировать, что верхний участок р. Уса по состоянию кормовой базы для бентосоядных рыб, согласно рыбохозяйственной шкале, характеризуется как «выше средней

кормности», средний участок – «малокормный», нижний – «среднекормный».

По состоянию зообентоса качество воды верхнего участка реки находится в диапазоне II–III классов, т.е. вода «чистая» – «умеренно загрязненная». Качество воды среднего участка в рипали изменяется от II до V классов: «чистая» – «грязная». Медиаль среднего течения характеризуется III–V классами качества. Рипаль нижнего течения оценивается II–IV классом, т.е. «чистая» – «загрязненная», а медиаль – V классом, т.е. «грязная» (табл. 14).

Определение качества водных масс выполнено нами дополнительно с использованием индекса загрязнения воды (УИКЗВ), а комплексная оценка состояния экосистемы реки выполнена на основе интегрального индекса экологического состояния с учетом данных по гидрохимическим и гидробиологическим показателям (ИИЭС; Зинченко и др., 2000) и с использованием оценки экологической состояния бассейна реки (Критерии ..., 1992; табл. 15). Исследования показали, что река испытывает слабое умеренное антропогенное воздействие в верхнем и среднем течениях, а в устьевом участке она относится в основном к загрязненным водотокам с относительно удовлетворительной экологической ситуацией на отдельных участках. Было установлено, что притоки р. Уса не увеличивают внутреннюю биогенную нагрузку и не оказывают влияние на биоразнообразие и биоресурсы самой реки (Зинченко и др., 2019).

Экологический статус реки Уса установлен нами ранее на основании данных комплексной характеристики техногенной нагрузки и суммировании результатов мониторинга по оценке качества участков реки на всем ее протяжении (Зинченко и др., 2019).

Таблица 15. Характеристика экологического состояния р. Уса с использованием интегральных методов оценки. **Table 15.** Characterizing the ecological state of the Usa River using integral estimation methods.

Методы	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
ИЗВ, УИКЗВ	удовлетворительно	относительное экологическое благополучие	относительное экологическое благополучие
ИИЭС	относительное экологическое благополучие	относительное экологическое благополучие	умеренно загрязненная
«Критерии ...», 1992	удовлетворительная экологическая ситуация	относительное экологическое благополучие	загрязненная

Оценка качества воды в р. Уса, рассчитанная по показателям макрозообентоса (раздел Материалы и методы) с использованием комплекса биотических показателей и индексов показана в таблице 16. На створах верхнего течения реки величины показателя ЕРТ изменялись от 5 до 7 баллов, что существенно ниже показателей для эталонных участков, где число видов ЕРТ обычно достигает 13–15. Согласно значениям Биотического индекса Вудивисса, качество воды изменялось от «очень чистой» до «чистой» (табл. 16), индекс ВМWP характеризовал качество воды как «очень хорошее», индекс H_p – «вода чистая», индекс G/WI – «река в хорошем состоянии».

В среднем течении реки отмечается снижение качества воды по биотическим показателям (табл. 17). Так, величины показателя ЕРТ не превышали 4 балла, а величины

ТВИ дали оценку воды как «чистая-умеренно загрязненная», BMWP – как вода «хорошего» качества, G/WI – «река в хорошем состоянии», H – вода «умеренно загрязненная».

В нижнем течении водные массы р. Уса характеризуются состоянием градации – от «вода в хорошем состоянии» (согласно расчету индекса G/WI) до «вода очень грязная» (индекс ТВИ) и «вода плохого качества» (индекс BMWP).

Общее экологическое состояние р. Уса характеризуется совокупностью воздействия абиотических факторов, установленных структурных и количественных характеристик планктонных и донных сообществ, что позволяет отнести р. Уса к равнинным рекам, испытывающим умеренный антропогенный пресс с локальной повышенной нагрузкой в местах выпуска сточных вод и в Усинском заливе.

Таблица 16. Оценка качества воды и экологического состояния участков р. Уса по биотическим показателям. **Table 16.** Assessment of water quality and ecological state of the Usa River parts according to their biotic indicators.

Индекс	Значение индекса и оценка качества воды	Участок реки		
		Верхний	Средний	Нижний
ЕРТ	значение	5-7	2-4	0
ТВИ	значение индекса, балл	8-10	6-7	1-3
	качество воды	очень чистая – чистая	чистая – умеренно загрязненная	грязная – очень грязная
BMWP	значение индекса, балл	136-141	68-76	23-25
	качество воды	очень хорошее	хорошее	плохое
G/WI	значение индекса, %	8-11	25-27	45-50
	качество воды	река в хорошем состоянии	река в хорошем состоянии	река в хорошем состоянии
Hn	значение индекса	3.05-3.15	2.3-2.5	1.9-2.07
	качество воды	чистая	умеренно загрязненная	умеренно загрязненная

К основным источникам поступления загрязняющих веществ в речной водоток относятся: сброс загрязняющих веществ в составе коммунально-бытовых сточных вод, промышленных предприятий, поверхностного стока сельскохозяйственных предприятий и с водосборной площади. Можно констатировать, что проведенная интегральная оценка состояния р. Уса по результатам комплексного обследования, выполненная с учетом гидрохимических и гидробиологических характеристик, в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе «Критерии оценки экологической обстановки ...» (1992) свидетельствует об относительно удовлетворительном состоянии реки на всем ее протяжении с выделением локальных участков реки, характеризующихся в 2017-2018 гг. по содержанию биогенных элементов (фосфаты) как «экологическое бедствие».

Выводы

Таким образом, рассмотрены закономерности структурной изменчивости планктонных и донных сообществ на участках равнинной реки Уса бассейна Средней Волги. Впервые выявлено таксономическое разнообразие альгоценозов р. Уса и её притоков в зависимости от гидрологических условий, антропогенного влияния, изменения содержания биогенных веществ. В 2017-2018 гг. был зарегистрирован 201 таксон водорослей рангом ниже рода из 7 отделов с преобладанием в реках *Bacillariophyta* (56% от состава) и *Chlorophyta* (28%). Диапазон численности в альгоценозах составил 0.02-5.4 млн. кл./л, биомассы – 0.01-2.1 мг/л; содержание хлорофилла-«а» – 0.01-3.1 мкг/л. Пространственная экологическая неоднородность р. Уса обуславливает динамику таксономического состава и структуры, характеризующих мозаичностью количественного распределения альгофлоры. Экотонный эффект в зоне смешения и трансформации вод нижнего течения водотоков и Усинского залива Куйбышевского водохранилища выражен в увеличении разнообразия и количества водорослей, усилении ценотической роли *Суанопрокариота*, а также зелёных водорослей порядка *Chlorococcales*, доминирующих в Усинском заливе. По биомассе и концентрации хлорофилла-«а» трофическое состояние р. Уса в верхнем и среднем течении является олиготрофным, в устьевой зоне и в Усинском заливе – мезотрофным. Величины индексов сапробности на всех станциях не превышали значения 1.19-2.46.

В сообществах зоопланктона водной системы р. Уса летом 2017-2018 гг. было отмечено 45 видов, из которых коловраток – 28, ветвистоусых – 13, веслоногих ракообразных – 4. Состав зоопланктона типичен для водоемов Волжского бассейна, представлен фитофильными и планктобентосными коловратками, ветвистоусыми ракообразными рода *Alona*. Существенно, что в устьевой зоне реки и притоке Тишерек впервые для бассейна Нижней Волги зарегистрирована коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet) – обитатель водоемов северных широт. Наибольшие величины обилия зоопланктона отмечены в глубоководном участке река–водохранилище, где численность и биомасса зоопланктона достигали 0.4 тыс. экз./м³ и 5.4 г/м³ соответственно с преобладанием *Daphnia galeata* Sars. Динамичность гидрофизических и гидрологических параметров определяет продольное распределение количественных и структурных показателей сообществ планктонных организмов *по типу экоклина* в условиях обитания в мезо-эвтрофных водных массах.

Таксономическое богатство макрозообентоса (127 видов и личиночных форм с доминированием 50 видов двукрылых Chironomidae) на участках реки в значительной степени обусловлено биотопическим разнообразием. Подавляющее большинство чужеродных видов – 15, из них 9 представлены ракообразными понто-каспийского комплекса, обитающих в прибрежной зоне. Выделенные ценозы соответствуют характерным зонам водотока в условиях динамики гидролого-гидрохимических факторов, определяющих комплексный градиент среды.

Результаты исследования пространственного распределения видов в сообществах зоопланктона и макрозообентоса р. Уса свидетельствуют о том, что видовой состав на каждом из участков реки специфичен и формируется в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с воздействующими природными и антропогенными факторами.

Наиболее важными факторами распространения гидробионтов являются насыщение кислородом, содержание общего фосфора и общая минерализация воды, что обуславливает общий характер распределения сообществ бентоса в условиях локальных биотопических и сезонных изменений.

Проведение комплексной осмысленной оценки экологического состояния равнинной реки бассейна Средней Волги имеет существенное значение при объяснении механизмов

функционирования речных экосистем.

Экологическое состояние участков р. Уса в 2017-2018 гг. по комплексу интегральных показателей характеризуется как «относительно удовлетворительное» и «зона экологического кризиса» (Зинченко и др., 2019). В результате проведенных исследований можно констатировать, что воды реки на современном этапе удовлетворяют требованиям, предъявляемым для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИЭВБ РАН № АААА-А17-117112040040-3 «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» и ИБВВ РАН №121051100109-1 «Систематика, разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных, структура популяций и сообществ в континентальных водах», а также при финансовой поддержке грантов РФФИ (17-04-00135; 17-44-63019) «Экосистемное разнообразие равнинных рек бассейна Средней Волги в современных условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. *Алекин О.А.* 1970. Основы гидрохимии. Л. 442 с.
1. Alekin OA. Basics of hydrochemistry [*Osnovy gidrokhimii*]. Leningrad, 1970:442.
2. *Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М.* 2013. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука. 342 с.
2. Alimov AF, Bogatov VV, Golubkov SM. Productive hydrobiology [*Produktsionnaya gidrobiologiya*]. Saint-Petersburg: Nauka, 2013:342.
3. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. 2007 / Ред. О.В. Бухарин, Г.С. Розенберг. М.: Наука. 403 с.
3. Bioindication of the ecological state of lowland rivers [*Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya ravninnykh rek*] / eds. O.V. Bukharin, G.S. Rosenberg. Moscow: Nauka, 2007:403.
4. *Богатов В.В.* 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 218 с.
4. Bogatov VV. Ecology of river communities in the Russian Far East [*Ekologiya rechnykh soobshchestv rossiyskogo Dal'nego Vostoka*]. Vladivostok: Dal'nauka, 1994:218.
5. *Богатов В.В., Федоровский А.С.* 2017. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука. 384 с.
5. Bogatov VV, Fedorovsky AS. Basics of river hydrology and hydrobiology [*Osnovy rechnoy gidrologii i gidrobiologii*]. Vladivostok: Dal'nauka, 2017:384.
6. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. 2015 / Ред. А.В. Крылов. Ярославль: Филигрань. 466 с.
6. Hydroecology of the mouth areas of the tributaries of the lowland water reservoir [*Gidroekologiya ust'yevykh oblastey pritokov ravninnogo vodokhranilishcha*] / ed. A.V. Krylov. Yaroslavl: Filigran', 2015:466.
7. *Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д.* 2020. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) // Ученые записки
7. Golovatyuk LV, Zinchenko TD. Biotic identifiers for assessing the water quality of a reference river: a comparative analysis of bioindicative indices of the Baitugan River (High Trans-Volga Region) [*Bioticheskiye identifikatory v otsenke kachestva vody etalonnoy reki: sravnitel'nyy analiz bioindikatsionnykh indeksov reki Baytugan (Vysokoye Zavolzh'ye)*] *Scholarly notes of the*

- Казанского университета. Серия «Естественные науки». Т. 162. № 1. С. 134-150.
8. Зинченко Т.Д. 2011. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна средней и нижней Волги (Атлас). Тольятти: Кассандра. 258 с.
 9. Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. 2000. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 2. № 2. С. 233-243.
 10. Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. 2010. Биоразнообразие и структура сообществ макрозообентоса соленых рек аридной зоны юга России (Приэльтонье) // Аридные экосистемы. Т. 16. № 3 (43). С. 25-33.
 11. Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. 2010. Разнообразие и структура сообществ макрозообентоса высокоминерализованной р. Хара (Приэльтонье) // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 14-30.
 12. Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Шитиков В.К. 2017. Особенности пространственного распределения донных сообществ равнинной реки бассейна Средней Волги // Вестник Томского государственного университета. Биология. № 40. С. 163-180.
 13. Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. 2012. Большие проблемы малых рек // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экосистемы: экология и динамика, 2023, том 7, № 2
- Kazan University [Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta] Natural Sciences Series [Seriya "Yestestvennye nauki"]*. 2020;162 (1):134-150.
8. Zinchenko TD. Ecological and faunal characteristics of chironomids (Diptera, Chironomidae) from small rivers in the basin of the middle and lower Volga (Atlas) [*Ekologo-faunisticheskaya kharakteristika khironomid (Diptera, Chironomidae) malykh rek basseyna sredney i nizhney Volgi (Atlas)*]. Tolyatti: Kassandra, 2011:258.
 9. Zinchenko TD, Vykhristyuk LA, Shitikov VK. Methodological approach to the assessment of the ecological state of river systems by hydrochemical and hydrobiological indicators [*Metodologicheskiy podkhod k otsenke ekologicheskogo sostoyaniya rechnykh sistem po gidrokhimicheskim i gidrobiologicheskim pokazatelyam*]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk]*. 2000;2 (2):233-243.
 10. Zinchenko TD, Golovatyuk LV. Biodiversity and structure of macrozoobenthos communities of saline rivers in the arid zone of southern Russia (Prieltonye) [*Bioraznoobraziye i struktura soobshchestv makrozoobentosa solenykh rek aridnoy zony yuga Rossii (Priel'ton'ye)*]. *Arid Ecosystems*. 2010;16 (3):25-33.
 11. Zinchenko TD, Golovatyuk LV, Vykhristyuk LA, Shitikov VK. Diversity and structure of macrozoobenthos communities in the highly mineralized Khara River (Elton Region) [*Raznoobraziye i struktura soobshchestv makrozoobentosa vysokomineralizovannoy r. Khara (Priel'ton'ye)*]. *Volga Ecological Journal [Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal]*. 2010;1:14-30.
 12. Zinchenko TD, Golovatyuk LV, Shitikov VK. Features of the spatial distribution of benthic communities of the flat river of the Middle Volga basin [*Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya donnykh soobshchestv ravninnoy reki basseyna Sredney Volgi*]. *Bulletin of the Tomsk State University [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta] Biology Series [Biologiya]*. 2017;40:163-180.
 13. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Big problems of small rivers [*Bol'shiye problemy malykh rek*]

- экологии. Т. 21. № 4. С. 207-213.
14. Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. 2021. Опыт исследования малых реке в Институте Экологии Волжского бассейна РАН // Экология речных бассейнов: Труды 10-й Международной научно-практической конференции / Ред. Т.А. Трифонова. Владимир: Аркаим. С. 25-34.
 15. Зинченко Т.Д., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Минеев А.К., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Болотов С.Э., Курина Е.М., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Кузнецова Р.С., Михайлов Р.А., Попченко Т.В. 2019. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 28. № 2. С. 156-188.
 16. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. Утверждено Минприроды РФ 30.11.1992 [Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (дата обращения 7.01.2023)].
 17. Крылов А.В. 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука. 263с.
 18. Курина Е.М. 2014. Распространение чужеродных видов макрозообентоса в притоках Куйбышевского и Саратовского водохранилищ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16. № 1. С. 236-242.
 19. Курина Е.М. 2018. Сравнительная оценка размерных характеристик чужеродных видов макрозообентоса Куйбышевского и Саратовского водохранилищ // *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology [Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii]*. 2012;21 (4):207-213.
 14. Zinchenko TD, Rozenberg GS. Experience in the study of small rivers at the Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences [*Opyt issledovaniya malykh reke v Institute Ekologii Volzhskogo basseyyna RAN*] *Ecology of river basins [Ekologiya rechnykh basseynov]* Proc. of the 10th International Scientific and Practical Conference [*Trudy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*] / ed. T.A. Trifonova. Vladimir: Arkaim, 2021:25-34.
 15. Zinchenko TD, Saxonov SV, Senator SA, Mineev AK, Golovatyuk LV, Gorokhova OG, Bolotov SE, Kurina EM, Abrosimova EV, Umanskaya MV, Kuznetsova RS, Mikhailov RA, Popchenko TV. Ecological passport of the Usa River (right-bank tributary of the Volga) [*Ekologicheskiy pasport reki Usy (pravoberezhnyy pritok Volgi)*] *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology [Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii]*. 2019;28 (2):156-188.
 16. Criteria for assessing the ecological situation of territories to identify zones of ecological emergency and zones of ecological disaster [*Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya*]. Approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on 30/11/1992. 1992, Available at <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (Date of Access 7/01/2023).
 17. Krylov AV. Zooplankton of lowland small rivers [*Zooplankton ravninnykh malykh rek*]. M.: Nauka, 2005:263.
 18. Kurina EM. Distribution of alien species of macrozoobenthos in the tributaries of the Kuibyshev and Saratov reservoirs [*Rasprostraneniye chuzherodnykh vidov makrozoobentosa v pritokakh Kuybyshevskogo i Saratovskogo vodokhranilishch*]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk]*. 2014;16

- Известия Самарского научного центра РАН. Т. 20. № 2. С. 73-84.
20. Курина Е.М. 2020. Особенности распределения чужеродных видов макрозообентоса в заливах водохранилищ (на примере водоёмов средней и нижней Волги) // Российский журнал биологических инвазий. № 1. С. 20-29.
 21. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М.: Наука. 240 с.
 22. Методические рекомендации по обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. 1984а / Ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. Л.: Зоологический институт АН СССР. 52 с.
 23. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах (зообентос, фитопланктон, бактериопланктон, зоопланктон). 1984б. Л.: ГосНИОРХ. 32 с.
 24. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: зоопланктон и его продукция. 1982. Л.: ГосНИОРХ. 33 с.
 25. Определение продукции популяции водных сообществ: учебно-методическое пособие. 2000. / Ред. А.Ф. Алимов, З.Г. Гольд. Новосибирск: Наука. 63 с.
 26. Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна. 2011 / Ред. Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: Кассандра. 322 с.
 27. Руководство по (1):236-242.
 19. Kurina EM. Comparative assessment of the size characteristics of alien species of macrozoobenthos of the Kuibyshev and Saratov reservoirs [Sravnitel'naya otsenka razmernykh kharakteristik chuzherodnykh vidov makrozoobentosa Kuybyshevskogo i Saratovskogo vodokhranilishch]. *Herald of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk]*. 2018;20 (2):73-84.
 20. Kurina EM. Features of the distribution of alien species of macrozoobenthos in the bays of reservoirs (on the example of reservoirs of the middle and lower Volga) [Osobennosti raspredeleniya chuzherodnykh vidov makrozoobentosa v zalivakh vodokhranilishch (na primere vodoyomov sredney i nizhney Volgi)]. *Russian Journal of Biological Invasions [Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy]*. 2020;1:20-29.
 21. Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies [*Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov*]. Moscow: Nauka, 1975:240.
 22. Guidelines for the processing of materials in hydrobiological research in fresh water. Zoobenthos and its products [*Metodicheskiye rekomendatsii po obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh. Zoobentos i yego produktsiya*] / eds. G.G. Vinberg, G.M. Lavrentieva. Leningrad: Zoologicheskii institut AN SSSR, 1984a:52.
 23. Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs (zoobenthos, phytoplankton, bacterioplankton, zooplankton) [*Metodicheskiye rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh (zoobentos, fitoplankton, bakterio plankton, zooplankton)*]. Leningrad: GosNIORKh, 1984b:32.
 24. Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs: zooplankton and its products [*Metodicheskiye rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoyemakh:*

- гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992 / Ред. В.А. Абакумов. СПб.: Гидрометеиздат. 318 с.
28. Семенов А.Д. 1977. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат. 540 с.
29. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ (с изменениями от 19, 29 июля 2018 г.) [Электронный ресурс https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 7.01.2023)].
30. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. 2011. Статистические методы анализа видовой структуры сообществ (на примере речного макрозообентоса) // Журнал общей биологии. Т. 72. № 5. С. 355-368.
31. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. 2013. Изменение таксономического и функционального разнообразия сообществ макрозообентоса по продольному градиенту рек // Успехи современной биологии Т. 133. № 6. С. 566-577.
32. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. 2014. Статистический анализ структурной изменчивости донных сообществ и проверка гипотезы речного континуума // Водные ресурсы. Т. 41. № 5. С. 530-540.
33. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. 2018. Многомерный статистический анализ экосистем на примере донных сообществ малой равнинной реки. Обзор // Астраханский вестник экологического образования. № 6 (48). С. 110-126.
34. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Абросимова Э.В. 2010. Непараметрические методы *zooplankton i yego produktsiya*. Leningrad: GosNIORKh, 1982:33.
25. Determination of the production of the population of aquatic communities: a guide book [*Opredeleniye produktsii populyatsii vodnykh soobshchestv: uchebno-metodicheskoye posobiye*] / eds. A.F. Alimov, Z.G. Gold. Novosibirsk: Nauka, 2000:63.
26. Features of freshwater ecosystems of small rivers of the Volga basin [*Osobennosti presnovodnykh ekosistem malykh rek Volzhskogo basseyna*] / eds. G.S. Rosenberg, T.D. Zinchenko. Tolyatti: Kassandra, 2011:322.
27. Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems [*Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem*] / ed. V.A. Abakumov. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318.
28. Semenov AD. Guide to the chemical analysis of land waters [*Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushi*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977:540.
29. Federal Law No. 7-FZ “On Environmental Protection”, issued on 10/01/2002 (amended on 19/07/2018 and 29/07/2018) [*Federal'nyy zakon "Ob okhrane okruzhayushchey sredy"*]. 2002, Available at https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (Date of Access 07/01/2023).
30. Shitikov VK, Zinchenko TD. Statistical methods for analyzing the species structure of communities (on the example of river macrozoobenthos) [*Statisticheskiye metody analiza vidovoy struktury soobshchestv (na primere rechnogo makrozoobentosa)*]. *Journal of General Biology [Zhurnal obshchey biologii]*. 2011;72 (5):355-368.
31. Shitikov VK, Zinchenko TD. Changes in the taxonomic and functional diversity of macrozoobenthos communities along the longitudinal gradient of rivers [*Izmeneniye taksonomicheskogo i funktsional'nogo raznoobraziya soobshchestv makrozoobentosa po prodol'nomu gradiyentu rek*]. *Advances in modern biology [Uspekhi sovremennoi biologii]*. 2013;133 (6):566-577.
32. Shitikov VK, Zinchenko TD. Statistical analysis of structural variability of benthic communities and testing of the river continuum hypothesis [*Statisticheskiy analiz strukturnoy izmenchivosti*

- сравнительной оценки видового разнообразия речных сообществ макрозообентоса // Журнал общей биологии. № 3. С. 263-274.
35. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. 2021. Модели максимальной энтропии и пространственное распределение видов донных сообществ на территории Среднего и Нижнего Поволжья // Журнал прикладной экологии. № 2 (26). С. 10-16.
36. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. В 2-х кн. М.: Наука. Кн. 1., 281 с.; Кн. 2., 337 с.
37. Barbour M.T., Stribling J.B., Carr J.R. 1995. The Multimetric Approach for Establishing Biocriteria and Measuring Biological Condition. W.S. P. 63-80.
38. Karlson B., Cusak C., Bresnan E. 2010. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis // IOC Manuals and Guides. No. 55. Paris: UNESCO. 110 p.
39. Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J., Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T. 1996. Buffer Zones in Headwater Catchments // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Silsoe, UK: Cranfield University. 22 p.
40. SCOR-UNESCO, 1966. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO. Vol. 1. P. 11-18.
41. Woodiwiss F.S. 1964. The Biological System of Stream Classification Used by the Trent Board // Chemistry & Industry. Vol. 11. P. 443-447.
- donnykh soobshchestv i proverka gipotezy rechnogo kontinuumu]. *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 2014;41 (5):530-540.
33. Shitikov VK, Zinchenko TD. Multivariate statistical analysis of ecosystems on the example of benthic communities of a small flat river: a review [Mnogomernyy statisticheskiy analiz ekosistem na primere donnykh soobshchestv maloy ravninnoy reki: obzor]. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education [Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya]*. 2018;6 (48):110-126.
34. Shitikov VK, Zinchenko TD, Abrosimova EV. Non-parametric methods for the comparative assessment of the species diversity of river communities of macrozoobenthos [Neparametricheskiye metody sravnitel'noy otsenki vidovogo raznoobraziya rechnykh soobshchestv makrozoobentosa]. *Journal of General Biology [Zhurnal obshchey biologii]*. 2010;3:263-274.
35. Shitikov VK, Zinchenko TD, Golovatyuk LV. Models of maximum entropy and spatial distribution of species of benthic communities in the Middle and Lower Volga region [Modeli maksimal'noy entropii i prostranstvennoye raspredeleniye vidov donnykh soobshchestv na territorii Srednego i Nizhnego Povolzh'ya]. *Journal of Applied Ecology [Zhurnal prikladnoy ekologii]*. 2021;2 (26):10-16.
36. Shitikov VK, Rozenberg GS, Zinchenko TD. Quantitative Hydroecology: Methods, Criteria, Solutions [Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya], 2 books. Moscow: Nauka, 2005;1:281;2:337.
37. Barbour MT, Stribling JB, Carr JR. The Multimetric Approach for Establishing Biocriteria and Measuring Biological Condition. W.S. 1995:63-80.
38. Karlson B, Cusak C, Bresnan E. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis. *IOC Manuals and Guides*. 2010;55:110.
39. Leeds-Harrison PB, Quinton JN, Walker MJ, Harrison KS, Tyrrel SF, Morris J, Mills HT. Buffer Zones in Headwater Catchments. Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Silsoe, UK: Cranfield University, 1996:22.
40. SCOR-UNESCO. Determination of

42. SCOR-UNESCO, 1966. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO. Vol. 1. P. 11-18.
43. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. Москва 69 с. [Электронный ресурс <http://www.igce.ru/wp-content/reports/Доклад2017%20о%20климате%20РФфинSam.pdf> (дата обращения 07.01.2023)].
41. Woodiwiss FS. The Biological System of Stream Classification Used by the Trent Board. *Chemistry & Industry*. 1964;11:443-447.
42. SCOR-UNESCO. Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966;1:11-18.
43. Report on climate features in the Russian Federation for 2017 [*Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2017 god*]. Moscow, 2018:69, Available at <http://www.igce.ru/wp-content/reports/Доклад2017%20о%20климате%20РФфинSam.pdf> (Date of Access 07/01/2023).

**CONDITION OF PLANKTON AND BOTTOM COMMUNITIES OF THE
LOWLAND USA RIVER (BASIN OF THE MIDDLE VOLGA RIVER, KUYBYSHEV
RESERVOIR) UNDER CLIMATE CHANGES**

© 2023. T.D. Zinchenko*, E.V. Abrosimova*, O.G. Gorokhova*, L.V. Golovatyuk*,
R.S., Kuznetsova*, S.E. Bolotov**

**Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences
10, Komzina Str., Togliatti, Samara Region, 445003, Russia. E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru*

***I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences
109, Borok, Nekouzsky District, Yaroslavl Region, 152742, Russia. E-mail: ibiev@mail.ru*

Received March 28, 2022. Revised May 31, 2023. Accepted Juni 01, 2023.

We studied the specific features of spatial and structural variability of plankton and bottom communities of the small lowland river Usa, a tributary of the Kuibyshev Reservoir, as part of comprehensive studies of the ecological condition and water quality of the river. Based on the results of 2017-2018 studies, we established the type of spatial distribution of phytoplankton, zooplankton and macrozoobenthos community species along the longitudinal profile of the river with regard to hydrochemical indicators.

A comparative analysis of changes in the species richness of plankton and bottom communities and assessments of the ecological state of river with regard to the spatial variability of species diversity and quantitative characteristics was carried out. Based on the results of changes in the number and biomass of the main taxonomic groups using different methodological approaches to study the dynamics of hydrobiological indicators, their non-stationarity and the existence of regular trends depending on hydrological and hydrochemical factors were established.

The biodiversity of summer plankton allogenoses of the Usa River depending on hydrological conditions, anthropogenic influence, and changes in the content of biogenic substances was assessed for the first time. 201 algenoflora taxons ranked below genus from 7 algae divisions have been identified. The dominant ones are Bacillariophyta (56% of the composition) and Chlorophyta (28%). In the limnoplankton of the Usinsk Bay the species ratio in the composition of algae divisions changes in the direction of increasing share of green algae – Chlorophyta (45%). The proportion of Cyanoprokaryota varies from 4% in the Usa River to 12% in the Usinsk Bay.

It was found that the spatial dynamics of allogenosis structure in the Usa River is characterized by an

increase in species diversity, abundance, biomass, chlorophyll-«a» content from the source to the mouth. Correlation analysis revealed reliable relations ($P \leq 0.05$) between flow velocity, chlorophyll-«a» concentration, abundance, specific number of species, biomass ($r = -0.65$, $r = -0.69$, $r = -0.82$, $r = -0.79$, respectively). In terms of biomass and chlorophyll-«a» concentration, the trophic state of rivers in the upper and middle reaches is oligotrophic, in the estuaries - oligo-mesotrophic, in the Usinsk Bay water masses correspond to mesotrophic type. The main pollutant throughout the river is the concentration of total P (7-18 MAC), which is accompanied by an increase in the proportion of myxotrophic phytoflagellates – indicators of organic pollution. The increase in the number and biomass of phytoplankton in 2017 is due to the high content of biogenic elements (N, P).

Zooplankton of the Usa River water system includes 45 species, of which there are 28 Rotifera, 13 Copepoda and 4 Cladocera. Composition of zooplankton is typical for Volga basin water bodies and is represented by phytophilic and planktonic rotifers, planktobenthic crustaceans of *Alona* genus. For the first time in zooplankton of the mouth zone of the Usa River an invasive species, rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) – inhabitant of water bodies of northern latitudes was registered. The highest values of zooplankton abundance were recorded in the deep-water section of the “river – reservoir”, where the number and biomass of zooplankton reached 0.4 thousand ex/m³ and 5.4 g/m³ with predominance of holarctic *Daphnia galeata* (G.O. Sars, 1864). Dynamism of hydrophysical and hydrological parameters determines longitudinal distribution of quantitative and structural indicators of planktonic organisms communities by ecocline type in conditions of inhabiting meso-eutrophic water masses.

The spatial variability of plankton and bottom communities has been established, taking into account local biotopic variability determined by the landscape geomorphology features and the regular trend of quantitative indicators of biotic communities taxocenoses.

Assessment of water quality and ecological state of the watercourse was performed using integral methods and metrics. The obtained results of the water quality assessment of the Usa River can be used as a reference for calculating the multi-metric indicators of the ecological state of typologically similar small plain rivers.

Keywords: Usa river, small rivers, plankton and bottom communities, taxonomic diversity, abiotic factors, spatial distribution, ecological state, water quality, the basin of the Kuibyshev reservoir (Middle Volga Basin, Russia).

Funding. This work was carried out as part of the state task No. AAAA-A17-117112040040-3 for the Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences “Assessment of Modern Biodiversity and Forecast of Its Change for the Ecosystems of the Volga Basin under the Conditions of their Natural and Anthropogenic Transformation”, and No. 121051100109-1 for the Papanin Institute for Biology of Inland Waters “Systematics, Diversity, Biology and Ecology of Aquatic and Semiaquatic Invertebrates, Structure of Populations and Communities in Continental Waters”, as well as it was supported financially by the Russian Foundation for Basic Research (grants No. 17-04-00135 and 17- 44-63019) “Ecosystem Diversity of Lowland Rivers in the Middle Volga Basin under Current Conditions of Climate Change and Anthropogenic Impact”.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-137-175

EDN: HGMMEE

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПРОЕКТОВ СЕЛЕМДЖИНСКОЙ И НИЖНЕ-ЗЕЙСКОЙ ГЭС

© 2023 г. С.А. Подольский*.*.*

**Институт водных проблем РАН*

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: sergpod@mail.ru

***Зейский государственный природный заповедник*

Россия, 676246, Амурская область, г. Зeya, ул. Строительная, д. 71. E-mail: zzap@mail.ru

Поступила в редакцию 01.05.2023. После доработки 31.05.2023. Принята к публикации 01.06.2023.

5 апреля 2023 года на интернет-ресурсе «Телепорт.РФ» (2023) со ссылкой на ТАСС было опубликовано сообщение о том, что компания «РусГидро» приняла решение о строительстве в Амурской области Селемджинской и Нижне-Зейской гидроэлектростанций. После подтопления нескольких населенных пунктов на Дальнем Востоке гидростроители получили от федеральных властей поручение «спроектировать и создать в бассейне Амура гидросооружения для защиты населения от наводнений». Формальный подход к выполнению этого поручения может привести к экологической катастрофе регионального масштаба. Для р. Амур и ее притоков характерны колоссальные естественные колебания объемов стока, до 270 крат – от 150 до 40000 м³/сек. Это максимальный показатель для нашей страны. Создание крупных водохранилищ с необходимыми противопаводковыми емкостями сопряжено с целым рядом негативных экологических и социальных последствий.

Строительство Селемджинской и Нижне-Зейской гидроэлектростанций не решит вопрос борьбы с наводнениями, но гарантированно создаст массу острейших проблем. После возведения плотины Селемджинской станции под воду уйдет несколько крупных населенных пунктов, участок Байкало-Амурской магистрали и автодороги регионального значения. Площадь акватории составит около 800 км². В нарушение закона РФ от ООПТ Селемджинское водохранилище затопит значительную часть территории Норского заповедника, а оставшимся охраняемым наземным экосистемам будет нанесен невосполнимый ущерб. Эти водно-болотные угодья представляют ценнейшие местообитания не менее 29 редких охраняемых видов птиц. Для некоторых из них затапливаемые местообитания имеют важнейшее региональное или даже мировое значение. У черного аиста отмечена уникально высокая плотность населения – около 1 особи на 100 км². У дальневосточного аиста и японского журавля здесь находятся самые северные места гнездования. Здесь же обитают крупная обособленная гнездовая группировка черного журавля и единственная на территории Амурской области устойчивая группировка рыбного филина.

Плотины Селемджинской и Нижне-Зейской гидроэлектростанций будут расположены таким образом, что неизбежен колоссальный кумулятивный эффект от взаимного усиления негативного воздействия обоих водохранилищ на экосистемы. Основными проявлениями такого эффекта будут фактическое уничтожение последних крупных мигрирующих группировок сибирской косули, что противоречит закону о животном мире, и резкое падение биоразнообразия севера Амурской области: Селемджинское водохранилище сделает недоступными основные места размножения, а Нижне-Зейское перекроет пути к зимовкам косуль; одновременное затопление долинных биотопов в среднем течении рек Зeya и Селемджа перекроет магистральные экологические коридоры, уничтожив местообитания множества редких видов животных и растений.

Опасность упомянутых проектов подтверждена исследованиями и мнением экспертов: проект Семемджинской (Дагмарской) гидроэлектростанции был отклонен экологической экспертизой СССР; экологическая опасность Нижне-Зейской гидроэлектростанции показана в отчете по программе Минприроды России – Программа развития ООН/Глобальный экологический фонд.

Оптимальным выходом было бы рассмотреть строительства новых гидроузлов не как универсальную меру, а как один из пунктов представленной комплексной программы по предотвращению негативных социальных последствий наводнений. На территории Амурской области есть варианты размещения гидроэлектростанций, полностью отвечающие такому взвешенному подходу. Это Экимчанский (верховья р. Селемджа) и Верхне-Ниманский (верховья р. Ниман, левого притока р. Бурей) – перспективные створы, где строительство станций было бы сопряжено с наименьшими социально-экологическими издержками. Объективный анализ показывает, что решение о строительстве Селемджинской и Нижне-Зейской гидроэлектростанций отвечает главным образом ведомственным интересам гидростроителей и энергетиков. Нельзя допустить ситуации, когда из-за такого одностороннего подхода Приамурью будет нанесен колоссальный экологический и социально-экологический ущерб. При этом будет дискредитирована позитивная идея федеральных властей о действенной помощи населению. С другой стороны, выбор оптимальных створов и отказ от наиболее экологически опасных наряду с комплексным подходом к предотвращению негативных социальных последствий наводнений позволят сделать шаг к экологически устойчивому развитию региона.

Ключевые слова: борьба с наводнениями, Селемджинская и Нижне-Зейская ГЭС, экологическая опасность, нарушение миграций, сибирская косуля, редкие виды птиц, снижение биологического разнообразия.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-176-190

EDN: DGFWBG

5 апреля 2023 года на интернет-ресурсе «Телепорт.РФ» (2023) со ссылкой на ТАСС было опубликовано сообщение о том, что компания «РусГидро» приняла решение о строительстве в Амурской области Селемджинской и Нижне-Зейской гидроэлектростанций (ГЭС). Постараемся разобраться, чем вызвано такое решение, насколько оно обоснованно и чем может обернуться для Приамурья.

В настоящее время большинство экспертов считают, что энергии Зейской, Бурейской и Нижне-Бурейской ГЭС достаточно для обеспечения потребностей хозяйства российского Дальнего Востока на обозримую перспективу. Подтверждением этому является экспорт электроэнергии в КНР. После подтоплений нескольких населенных пунктов на Дальнем Востоке гидростроители получили от федеральных властей поручение: «спроектировать и создать в бассейне Амура гидросооружения для защиты населения от наводнений». Формальный подход к выполнению этого поручения может привести к экологической катастрофе регионального масштаба.

Водохранилища способны противостоять краткосрочным высоким паводкам и наводнениям при низком и среднем объеме стока. Однако возможность водохранилищ предотвращать наводнения при высоком и экстремальном объеме стока более чем сомнительна. Для Амура и его притоков характерны колоссальные естественные колебания объемов стока (до 270 крат – от 150 до 40000 м³/сек). Это максимальный показатель для нашей страны. Создание крупных водохранилищ с необходимыми противопаводковыми емкостями сопряжено с целым рядом негативных экологических и социальных последствий. Потребуется затопить огромные территории наиболее продуктивных сельскохозяйственных угодий и природных комплексов с максимальными показателями биоразнообразия. При этом понадобится ликвидация множества поселков и переселение десятков тысяч человек. Створы большинства перспективных плотин находятся в зонах тектонических разломов с высокой сейсмичностью. Их строительство существенно повысит риск техногенных катастроф.

Существует и экономический аспект проблемы. Практика показывает, что энергетики всеми силами стараются избегать холостых сбросов, лишаящих их дополнительных выплат

за электроэнергию. Вспомним лето 2014 г., когда сбросы с плотины Зейской ГЭС способствовали подтоплению населенных пунктов в нижнем бьефе. Приточность в Зейское водохранилище стала быстро увеличиваться в начале июля 2014 г., но только через месяц, 2 августа, энергетики несколько увеличили сброс воды. Но не настолько чтобы снизить уровень водохранилища и освободить необходимую резервную емкость для приема пика паводка. В итоге к пику паводка уровень воды в водохранилище достиг критической отметки угрожающей безопасности плотины. Вынужденный сброс усугубил критическую ситуацию в нижнем бьефе. По аналогичному сценарию разворачивались события в 2007 г. когда, при среднем уровне приточности, аварийные сбросы воды с Зейской ГЭС подтопили г. Зея и пос. Овсянка (Подольский, 2014). Похожие ситуации могут повториться и на новых ГЭС.

Рассмотрим возможности оценки перспективных вариантов размещения плотин гидроэлектростанций с точки зрения минимизации негативных экологических и социально-экологических последствий, включая влияние на животный мир. Корректировка латинских названий видов животных выполнена для млекопитающих – по сводке Зоологического музея МГУ (Лисовский и др., 2019), для птиц – по публикации «Фауна птиц Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов» (Коблик, Архипов, 2014), для амфибий и рептилий – по книге «Земноводные и пресмыкающиеся СССР (Банников и др., 1971), для рыб – по книге «Определитель пресноводных рыб фауны СССР (Веселов, 1977).

Методология оценки перспективных створов

Бороться стоит не с редкими экстремальными наводнениями, которые являются неотъемлемой природной особенностью Приамурья, а с их негативными социальными последствиями. Для этого необходим комплексный подход, включающий несколько основных направлений: 1) переселение людей из мест, наиболее опасных при наводнениях; 2) огораживание дамбами некоторых поселений и объектов инфраструктуры; 3) оптимизация использования противопаводковых емкостей существующих водохранилищ; 4) повышение оперативности и точности прогнозов наполняемости водохранилищ за счет увеличения числа гидропостов; 5) создание в верховьях рек небольших водохранилищ, не препятствующих сохранению биоразнообразия, не ухудшающих социальную обстановку в регионе и способствующих развитию местных производств; 6) заблаговременное планирование попусков из водохранилищ (в т.ч. экологических).

На основе изложенной концепции, а также исходя из опыта зоологического мониторинга в зонах влияния существующих и проектируемых гидроузлов на реках Зея и Буря, предлагаются следующие критерии выбора перспективных гидроузлов:

- небольшая площадь акватории;
- сравнительно небольшие затраты на строительство (менее 40 млрд. руб.);
- соответственно, небольшое время строительства (менее 10 лет);
- минимальный или незначительный уровень сейсмической опасности;
- отсутствие в зоне затопления и подтопления населенных пунктов;
- благоприятные условия для развития местных энергоемких производств;
- благоприятные условия для развития рекреации;
- отсутствие интенсивных воздействий на экосистемы, уже подвергавшиеся воздействию гидростроительства (в частности, расположение плотины дальше 90-100 км от зоны выклинивания подпора следующего водохранилища каскада, расположенного ниже по течению);
- сохранение участков «ненарушенных долин» между гидросооружениями;

- отсутствие в зоне затопления и влияния водохранилища основных путей миграций диких животных;
- отсутствие в зоне затопления и влияния водохранилища мест массового размножения диких животных;
- отсутствие в зоне затопления и влияния водохранилища важных местообитаний эндемичных, редких охраняемых видов животных и растений;
- отсутствие прямого и/или косвенного воздействия на заповедники или иные особо охраняемые природные территории (ООПТ) федерального значения.

На картосхеме (рис. 1) показаны акватории водохранилищ перспективных и строящихся гидроэлектростанций (ГЭС).

Проведена сравнительная балльная оценка перспективных створов по выбранным критериям (табл. 1). Очевидно, что по совокупности экологических и социально-экологических показателей Селемджинская, Гилуевская и Нижне-Зейская ГЭС сильно проигрывают другим перспективным створам. Селемджинская ГЭС представляет максимальную экологическую опасность. Экимчанскую и Верхне-Ниманскую ГЭС можно рассматривать, как оптимальные перспективные гидроузлы. Проект Селемджинской ГЭС был отклонен как экологически опасный еще государственной экспертизой СССР (в то время она называлась Дагмарской). Недопустимые экологические издержки, связанные с возможным созданием Нижне-Зейской ГЭС, подробно изучены и описаны в рамках специального проекта «Программа развития ООН/Глобальный экологический фонд – Минприроды России» (Подольский, 2017).



Рис. 1. Действующие и перспективные ГЭС Приамурья. Условные обозначения. Действующие станции: 1 – Зейская, 2 – Бурейская, 3 – Нижне-Бурейская. Перспективные станции: 4 – Гилуевская, 6 – Нижне-Зейская, 7 – Селемджинская, 11 – Экимчанская, 12 – Верхне-Ниманская, 15 – Нижне-Ниманская. **Fig. 1.** Active and planned hydroelectric power plants of the Amur Region. *Legend.* Active plants: 1 – Zeya, 2 – Bureya, 3 – Lower Bureya. Planned plants: 4 – Gilyuy, 6 – Lower Zeya, 7 – Selemdzha, 11 – Ekimchan, 12 – Upper Niman, 15 – Lower Niman.

Таблица 1. Оценка перспективных ГЭС по выбранным критериям. **Table 1.** Evaluation of planned hydroelectric power plants according to certain criteria.

Критерии	Перспективные ГЭС					
	Нижне-Зейская	Гилуйская	Экимчанская	Селемджинская	Нижне-Ниманская	Верхне-Ниманская
Площадь акватории < 200 км ²	–	–	+	–	–	+
Затраты на строительство < 20080 млрд. р.	+	–	н.д.	–	+	н.д.
Низкая сейсмичность	+	–	–	+	н.д.	–
Отсутствие населенных пунктов	–	+	+	–	+	+
Условия для организации местных энергоемких производств	+	–	–	–	+	–
Далее 100 км от существующих водохранилищ	+	–	+	+	–	+
Нет основных миграционных путей зверей	–	+	+	–	+	+
Нет основных мест размножения позвоночных	–	+	+	–	+	+
Нет известных мест концентрации наземных позвоночных	–	–	+	–	н.д.	+
Нет основных местообитаний охраняемых видов	–	–	н.д.	–	–	н.д.
Нет прямого воздействия на заповедники	+	–	+	–	+	+
Нет существенного косвенного влияния на заповедники	–	–	+	–	+	+
Суммарный балл	-2	-5	+6	-8	+4	+6

Результаты и обсуждение

Строительство Селемджинской и Нижне-Зейской ГЭС не решит вопрос борьбы с наводнениями, но гарантированно создаст массу острейших социальных и экологических проблем. После возведения плотины Селемджинской ГЭС под воду уйдет несколько крупных населенных пунктов, участок БАМ и автодороги регионального значения. Площадь акватории составит около 800 км². Будут затоплены обширные болотные массивы Норских и Альдиконских марей. Они представляют эффективный стабилизатор стока, способный аккумулировать огромный объем воды и препятствовать катастрофическому подъему уровня ниже по течению. Этот мощный естественный противопаводковый барьер не требует дополнительных затрат и надежно работает вне зависимости от технологических или экономических факторов. Кроме того, по данным российских ученых, болота Сибири и Дальнего Востока наиболее эффективно аккумулируют углерод, препятствуя развитию глобального потепления.

Главная экологическая опасность крупномасштабных работ по созданию больших противопаводковых плотин – кардинальное нарушение естественного гидрологического режима долин Амура и его крупных притоков, ведущее к деградации пойменных экосистем. Залог их сохранности – периодическое заливание, сопряженное с регулярными значительными колебаниями уровня грунтовых вод. Если эти условия не соблюдаются, то пойменная растительность быстро деградирует. Старичные озера без периодического промывания высокими паводками постепенно заиливаются. После появления Зейской и Бурейской ГЭС режим затопления поймы Амура уже претерпел значительные изменения. Дальнейшее снижение частоты высоких паводков и амплитуды колебаний уровня грунтовых вод приведет к катастрофическому снижению биологического разнообразия пойменных экосистем, в т.ч. к резкому уменьшению численности редких видов журавлей и аистов, гнездящихся в Хинганском заповеднике и на сопредельной территории (Парилов и др., 2006), к падению продуктивности сельскохозяйственных угодий, полной утрате рыбохозяйственного значения зарегулированных рек.

Нарушая закона РФ об ООПТ, Селемджинское водохранилище затопит значительную часть территории Норского заповедника, а оставшимся охраняемым наземным экосистемам будет нанесен невосполнимый ущерб. Эти водно-болотные угодья представляют ценнейшие местообитания не менее 29 редких охраняемых видов птиц. Для некоторых из них затапливаемые местообитания имеют важнейшее региональное или даже мировое значение. У черного аиста (*Ciconia nigra*) отмечена уникально высокая плотность населения – около 1 особи на 100 км². Это максимальный показатель для всей мировой популяции. У дальневосточного аиста (*Ciconia boyciana*) и японского журавля (*Grus japonensis*) здесь находятся самые северные места гнездования. Здесь же обитает крупная обособленная гнездовая группировка черного журавля (*Grus monacha*). Водно-болотные угодья в районе устьев рек Нора и Альдикон представляют второй по значимости в Амурской области очаг гнездования сухоноса (*Cygnopsis cygnoides*) и клокуна (*Anas formosa*). В междуречье среднего течения рек Селемджи и Норы существует единственная на территории Амурской области устойчивая группировка рыбного филина (*Ketupa blakistoni*), состоящая из 5-6 гнездящихся пар. Она представляет северо-западный форпост распространения этого уникального вида. В случае создания Селемджинской ГЭС все упомянутые группировки будут фактически уничтожены.

Бассейн среднего течения рек Зeya и Селемджа – единственное место в России, где до сих пор происходят массовые сезонные миграции сибирской косули (*Capreolus pygargus*; рис. 2).

Создание Нижне-Зейского и Селемджинского гидроузлов перекроет важнейшие миграционные пути сибирской косули и окажет резко негативное воздействие на Верхне-

Депскую, Норскую и Альдиконскую мигрирующие популяционные группировки, что является прямым нарушением Федерального закона о животном мире, запрещающего нарушение миграционных путей диких животных. Для Норской группировки это будет фактически смертным приговором. Междуречье рек Норы и Селемджи на территории Норского заповедника представляет основные места отёла и летние пастбища крупнейшей мигрирующей популяции косуль – 6-7 тыс. особей. Летом плотность населения достигает 40-50 особей на 1000 га. Осенью косули откочевывают на 100-150 км к юго-западу. В местах традиционных переправ за сутки можно увидеть 100-200 животных. Последние в мире места массовых переправ косуль представляют одну из важнейших природных достопримечательностей Амурской области. Селемджинское водохранилище делает недоступными места размножения этих копытных, а Нижне-Зейское перекроет пути к зимовкам в многоснежные годы. Таким образом, для косуль севера Амурской области наложение влияния двух новых водохранилищ даст колоссальный негативный кумулятивный эффект. Случаи массовой гибели косуль (рис. 3) отмечались на Зейском и Бурейском водохранилищах (Игнатенко и др., 2007), однако на Селемдже и Нижней Зее следует ожидать настоящей катастрофы для этих животных. Например, в ноябре 2015 года через территорию проектируемого Нижне-Зейского водохранилища выше поселка Чагоян на правый берег р. Зeya перешло около 3 тыс. косуль (рис. 2). При наличии здесь искусственного водоема большинство животных ожидала бы смерть.



Рис. 2. Массовая миграция сибирской косули в зоне влияния проектируемого Нижне-Зейского гидроузла; снимок сделан с федеральной трассы на участке между н.п. Сиваки и Мухино в районе истоков р. Ту, выше пос. Чагоян, в ноябре 2015 г. (фото Д.В. Астафьева).
Fig. 2. Mass migration of the Siberian roe deer in the influence zone of the planned Lower Zeya hydroelectric complex; the photo was taken from the federal highway, between Sivaki settlement and Mukhino settlement near the sources of the Tu River, upstream from the Chagoyan village, in November 2015 (photo by D.V. Astafiev).

Только на Нижней Зее масштабы единовременной гибели косуль при массовом переходе через водохранилище могут составить по разным оценкам от 3 до 10 тысяч особей; никак не меньше их погибнет на Норе и Селемдже. Косуля навсегда потеряет роль массового охотничьего вида, играющего значительную роль в жизнеобеспечении местного населения. Необходимо отметить, что падение численности коснется и других промысловых видов. Угодья, включающие среднее течение долины Зеи, всегда выделялись исключительно высокой плотностью населения охотничьих животных. Недаром здесь было учреждено два крупных зоологических заказника, Усть-Тыгдинский и Иверский, которые будут частично затоплены. Богатейшие охотничьи угодья Шимановского и Мазановского районов, примыкающие к долинам рек Зея и Селемджа, фактически потеряют свое промысловое значение. То же самое можно сказать о рыбных ресурсах. В формирующихся водохранилищах и их притоках резко сократится численность ценных пород рыб-реофилов хариуса (*Thymallus grubii*), ленка (*Brachymystax tumensis*), тайменя (*Hucho taimen*) и сига (*Coregonus lavaretus*). За кратковременным всплеском поголовья малоценных озерных видов, таких как озерный голянь (*Rhynchocypris percnurus*), серебряный карась (*Carassius gibelio*) и амурская щука (*Esox reicherti*), последует быстрое необратимое оскудение рыбных запасов искусственных водоемов. Резкое снижение продуктивности охотничьих угодий и оскудение рыбных ресурсов приведут не только к существенному снижению качества жизни местного населения и его дальнейшему оттоку из Приамурья, но и к значительному уменьшению биоразнообразия территории.



Рис. 3. Останки утонувшей косули, вмерзшей в лед Чеугдинского залива Бурейского водохранилища, где в декабре 2006 года погибло не менее 400 этих животных (фото С.Ю. Игнатенко). **Fig. 3.** The remains of a drowned roe deer in the frozen Cheugda Bay of the Bureya Reservoir, where about 400 of roe deer died in December 2006 (photo by S.Yu. Ignatenko).

В бассейне р. Амур поймы и долины крупных рек представляют систему магистральных «экологических коридоров», по которым десятки тысячелетий (начиная с третичного периода) идет межрегиональный обмен видами животных и растений. Один из важнейших коридоров регионального уровня связан с долинами рек Зея и Селемджа. Многообразие долинных биотопов обеспечивает проникновение маньчжурских видов (дальневосточная квакша (*Hyla japonica*), дальневосточная лягушка (*Rana dybowskii*), амурский полоз

(*Elaphe schrenckii*), узорчатый полоз (*Elaphe dione*), фазан (*Phasianus colchicus*), мандаринка (*Aix galericulata*), амурский еж (*Erinaceus amurensis*), уссурийская белозубка (*Crocidura lasiura*), дальневосточная полевка (*Microtus fortis*), амурский барсук (*Meles leucurus amurensis*), енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides*), дальневосточный лесной кот (*Prionailurus bengalensis euptilurus*), кабан (*Sus scrofa*)) далеко к северо-западу, а даурско-монгольских видов (монгольская жаба (*Bufo raddei*), унгорская полевка (*Microtus maximowiczii*), барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis*), длиннохвостый суслик (*Urocitellus undulatus*), солонгой (*Mustela altaica raddei*), степной хорь (*Mustela eversmanii amurensis*)) – далеко к северо-востоку от основных ареалов (Подольский, 2017). Кроме того, с долиной Зеи связаны места обитания и локальных концентраций несколько редких охраняемых видов занесенных в Красную книгу Амурской области (2020) и (или) России (2021), не относящихся к упомянутым фаунистическим комплексам: кутора (*Neomys fodiens*), амурский лемминг (*Lemmus amurensis*), черный аист (*Ciconia nigra*; рис. 4), сахалинская гадюка (*Vipera sachalinensis*; рис. 5).

До создания Зейского водохранилища некоторые виды с «южным типом ареала» проникали на север вплоть до Верхнезейской низменности и предгорий Станового хребта.



Рис. 4. Черные аисты, парящие над водно-болотными угодьями в районе устья р. Деп в зоне затопления проектируемого Нижне-Зейского водохранилища, сентябрь 2015 г. (фото С.А. Подольского). **Fig. 4.** Black storks over wetlands near the mouth of the Dep River, in the flood zone of the planned Lower Zeya Reservoir, September 2015 (photo by S.A. Podolsky).

Выводы

Что же в итоге? Два новых крупных водохранилища, расположенных на самых уязвимых с экологической точки зрения участках, не избавят Приамурье от наводнений при экстремальных объемах стока, а скорее повысят риск внеплановых технологических

попусков и аварийных залповых сбросов, как это было на Саяно-Шушенской ГЭС. А вот огромные экологические и социальные издержки гарантированы.

Конечно, новые ГЭС дадут дополнительную электроэнергию, которой на российском Дальнем Востоке и сейчас избыток. Не вызывает сомнений, что большая ее часть пойдет на экспорт. В средствах массовой информации можно услышать мнение о том, что «поставки электроэнергии в Китай являются не экспортом сырья, а продажей высокотехнологичного товара». Однако по сути электроэнергия является важнейшим стратегическим сырьем, получение которого сопряжено со значительными социально-экологическими издержками. Насколько это выгодно для Приамурья? Нельзя не учитывать, что резкий рост экспорта электроэнергии в Китайскую Народную Республику по ценам ниже, чем на российском Дальнем Востоке, снизит конкурентоспособность наших товаров по сравнению с китайскими и тем самым косвенно воспрепятствует гармоничному развитию хозяйства Приамурья.



Рис. 5. Сахалинская гадюка на правом берегу р. Деп в нижнем течении, в зоне затопления проектируемого Нижне-Зейского водохранилища, май 2015 г. (фото С.А. Подольского).

Fig. 5. *Vipera berus sachalinensis* on the right bank of the lower reaches of the Dep River, in the flood zone of the planned Lower Zeya Reservoir, May 2015 (photo by S.A. Podolsky).

После возведения плотины Зейской ГЭС в 1974 году длина Зейского экологического коридора сократилась на 150-200 км. Распространение «южных» видов на север стало четко ограничиваться южными предгорьями хребтов Тукурингра и Соктахан. В случае создания Нижне-Зейской ГЭС рассматриваемый экологический коридор сократится еще почти на 300 км и будет ограничен районом устья р. Граматуха. Появление Нижне-Зейской и Селемджинской ГЭС приведет к существенному обеднению животного населения и снижению биоразнообразия северной части Амурской области.

В последние годы Приамурье стало ареной масштабной природоохранной деятельности: создан Бурейский природный парк и ряд других региональных ООПТ; в рамках государственной программы «Экология» учрежден первый в области Токинско-Становой национальный парк; ОАО «РусГидро» поддерживает экопросветительскую деятельность Зейского и Хинганского заповедников (Подольский и др., 2019). Но проектирование

Селемджинской и Нижне-Бурейской ГЭС может легко перечеркнуть все достигнутые успехи. Плотины этих гидросооружений будут расположены таким образом, что неизбежен колоссальный кумулятивный эффект от взаимного усиления негативного воздействия обоих водохранилищ на экосистемы. Основными проявлениями такого эффекта будут фактическое уничтожение последних крупных мигрирующих группировок сибирской косули и резкое падение биоразнообразия севера Амурской области: Селемджинское водохранилище сделает недоступными основные места размножения, а Нижне-Зейское перекроет пути к зимовкам косуль; одновременное затопление долинных биотопов в среднем течении рек Зeya и Селемджа перекроет магистральные экологические коридоры, уничтожив местообитания множества редких видов животных и растений.

Трудно придумать что-либо более разрушительное для природы и социальной стабильности региона, которому будут угрожать снижение биоразнообразия, падение численности основных промысловых видов животных, потеря затопленных долинных сельскохозяйственных угодий и утрата продуктивности оставшихся, а также новый отток населения. Энергетикам должны быть хорошо известны эти слабые места обоих упомянутых вариантов размещения ГЭС. Проект Селемджинской ГЭС был отклонен как экологически-опасный еще государственной экспертизой СССР. После создания Норского заповедника к этому добавляется и прямое противоречие с российским законодательством, запрещающим разрушение природных комплексов федеральных ООПТ. Недопустимые экологические издержки, связанные с возможным созданием Нижне-Зейской ГЭС, подробно описаны в предоставленном «Рус Гидро» отчете Программа развития ООН/Глобальный экологический фонд – Минприроды России «Организация и выполнение мониторинга (включая предпроектный мониторинг) состояния биоразнообразия в зонах воздействия проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидроэнергетических объектов в Амурской области» (2016).

Оптимальным выходом из сложившейся ситуации было бы рассмотреть строительство новых гидроузлов не в качестве универсальной меры, а в качестве одного из пунктов представленной комплексной программы по предотвращению негативных социальных последствий наводнений. На территории Амурской области есть варианты размещения ГЭС, полностью отвечающие предложенному взвешенному подходу. Это Экимчанский (верховья р. Селемджа) и Верхне-Ниманский (верховья р. Ниман, левого притока р. Буреи) – перспективные створы, где строительство ГЭС было бы сопряжено с наименьшими социально-экологическими издержками (рис. 1; табл.1). Примечательно, что в поручении Президента 2021 года говорилось о проработке вопроса возможности строительства ГЭС на рр. Ниман и Селемджа. Как отмечалось, в верховьях обеих упомянутых рек есть экологически приемлемые створы. Однако энергетики выбрали наиболее опасный вариант размещения ГЭС на Селемдже и возведение новой плотины в долине Зеи, экосистемы которой уже испытывают интенсивное воздействие крупнейшего на Дальнем Востоке водохранилища. О возможности создания ГЭС на р. Ниман в сообщении «РусГидро» даже не упоминается. Вероятно, отказ от строительства плотин в верховьях Селемджи и Нимана связан с меньшей транспортной доступностью этих участков и меньшими масштабами проектов. Но подход «строим, где легче и дороже, невзирая на последствия» отвечает лишь корпоративным интересам гидростроителей. При этом нельзя забывать о том, что ОАО «РусГидро» – не частная, а государственная компания.

Объективный анализ показывает, что решение о строительстве Селемджинской и Нижне-Зейской ГЭС отвечает главным образом ведомственным и корпоративным интересам лиц и организаций, заинтересованных в освоении максимальных средств при минимальных трудовых и организационных затратах. Нельзя допустить ситуации, когда из-за такого одностороннего подхода Приамурью будет нанесен колоссальный экологический и социально-

экологический ущерб. При этом будет дискредитирована позитивная идея федеральных властей о действенной помощи населению. С другой стороны, выбор оптимальных створов и отказ от наиболее экологически опасных наряду с необходимыми компенсационными мероприятиями и комплексным подходом к предотвращению негативных социальных последствий наводнений позволят сделать реальный шаг к экологически-устойчивому развитию региона.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках темы № FMWZ-2022-0002 государственного задания Института водных проблем РАН «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий», а также в рамках государственного задания № 051-00007-22-00 Зейского государственного природного заповедника «Динамика явлений и процессов в экосистемах Зейского заповедника и национального парка “Токинско-Становой”».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банников А.Г., Даревский И.С., Рустамов А.К. 1971. Земноводные и пресмыкающиеся СССР. М.: Мысль. 303 с.
1. Bannikov AG, Darevsky IS, Rustamov AK. Amphibians and reptiles of the USSR [*Zemnovodnyye i presmykayushchiyesya SSSR*]. Moscow: Mysl', 1971;303.
2. Веселов Е.А. 1977. Определитель пресноводных рыб фауны СССР. М.: Просвещение. 228 с.
2. Veselov EA. Key to freshwater fish fauna of the USSR [*Opredelitel' presnovodnykh ryb fauny SSSR*]. Moscow: Prosveshcheniye, 1977:228.
3. Игнатенко С.Ю., Подольский С.А., Былков А.Ф. 2007. Мониторинг гибели мигрирующих косуль в зоне влияния Бурейского водохранилища и расчет ущерба близлежащим ООПТ // Материалы VIII Дальневосточной конференции по заповедному делу. Благовещенск: Изд-во БГПУ. Т. 1. С. 151-159.
3. Ignatenko SYu, Podolsky SA, Bylkov AF. Monitoring the death of migrating roe deer in the zone of influence of the Bureya reservoir and calculating the damage to nearby protected areas [*Monitoring gibeli migriruyushchikh kosul' v zone vliyaniya Bureyskogo vodokhranilishcha i raschet ushcherba blizlezhachim OOPT*] Proc. of the VIII Far Eastern Conference on Reserve Affairs [*Materialy VIII Dal'nevostochnoy konferentsii po zapovednomu delu*]. Blagoveshchensk: BGPU, 2007;1:151-159.
4. Коблик Е.А., Архипов В.Ю. 2014. Фауна птиц Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов // Зоологические исследования. № 14. М.: Тов-во научных изданий КМК. 172 с.
4. Koblik EA, Arkhipov VYu. Bird fauna of Northern Eurasia within the boundaries of the former USSR: lists of species [Fauna ptits Severnoy Yevrazii v granitsakh byvshego SSSR: spiski vidov] *Zoological Research* [*Zoologicheskiye issledovaniya*]. Moscow: Tov-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2014;14:172.
5. Лисовский А.А., Шефтель Б.И., Савельев А.П., Ермаков О.А. 2019. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Т. 56. М.: Тов-во научных изданий КМК. 191 с.
5. Lisovsky AA, Sheftel BI, Savelyev AP, Ermakov OA. Mammals of Russia: list of species and applied aspects [*Mlekovitayushchiye Rossii: spisok vidov i prikladnyye aspekty*] Proc. of the Zoological Museum of Moscow State University [*Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya MGU*].
6. Красная книга Амурской области.

2020. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2-е изд. испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета. С. 186-187.
7. Красная книга Российской Федерации. Т. Животные. 2021. 2-е изд. М.: ВНИИИ Экология. 1128 с.
8. Организация и выполнение мониторинга (включая предпроектный мониторинг) состояния биоразнообразия в зонах воздействия проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидроэнергетических объектов в Амурской области. 2016 // Отчет о научно-исследовательской работе по Проекту ПРООН/ГЭФ – Минприроды России, Договор № 01/К/2015. М.-Зeya. 267 с.
9. Парилов М.П., Игнатенко С.Ю., Кастрикин В.А. 2006. Гипотеза влияния многолетних гидрологических циклов и глобального изменения климата на динамику численности японского, даурского журавлей и дальневосточного аиста в бассейне реки Амур // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна р. Амур. М. С. 92-109.
10. Подольский С.А. 2014. Экологические и социально-экологические аспекты различных вариантов гидростроительства в Приамурье // Материалы Московского городского отделения Русского географического общества. Биогеография. Вып. 18. М.: Издательский дом Типография РАСХН. С. 85-101.
11. Подольский С.А. 2017. Основные угрозы природным комплексам в связи с гидростроительством и возможности экологически-устойчивого освоения водных ресурсов Приамурья // Moscow: Tov-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2019;56:191.
6. Red Data Book of the Amur Region [*Krasnaya kniga Amurskoy oblasti*] Rare and endangered species of animals, plants and fungi [*Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov*]. 2nd ed., corrected, revised and suppl. Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020:186-187.
7. Red Data Book of the Russian Federation [*Krasnaya kniga Rossiyskoy federatsii*] Animals [*Zhivotnyye*]. 2nd ed. Moscow: VNIИ Ekologiya, 2021:1128.
8. Organization and implementation of monitoring (including pre-project monitoring) of the state of biodiversity in the impact zones of designed, constructed and operated hydropower facilities in the Amur Region [*Organizatsiya i vypolneniye monitoringa (vkluychaya predproyektnyy monitoring) sostoyaniya bioraznoobraziya v zonakh vozdeystviya proyektiruyemykh, stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh gidroenergeticheskikh ob'yektov v Amurskoy oblasti*] Report on research work on the UNDP/GEF Project – Ministry of Natural Resources of Russia, Agreement No. 01/K/2015 [*Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po Proyektu PROON/GEF – Minprirody Rossii*]. Moscow-Zeya, 2016:267.
9. Parilov MP, Ignatenko SYu, Kastrikin VA. Hypothesis of the influence of long-term hydrological cycles and global climate change on the dynamics of the number of Japanese, white-naped cranes and Far Eastern storks in the Amur River basin [*Gipoteza vliyaniya mnogoletnikh gidrologicheskikh tsiklov i global'nogo izmeneniya klimata na dinamiku chislennosti yaponskogo, daurskogo zhuravley i dal'nevostochnogo aista v bassejne reki Amur*] Impact of climate change on ecosystems of the Amur river basin [*Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy basseyna r. Amur*]. Moscow, 2006:92-109.
10. Podolsky SA. Ecological and socio-ecological aspects of various options for hydro construction in the Amur region [*Ekologicheskiye i sotsial'no-ekologicheskiye aspekty razlichnykh variantov gidrostroitel'stva v Priamur'ye*] Materials of the Moscow City Branch of the Russian Geographical

- Гидротехника. № 3. С. 57-60.
12. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Кастрикин В.А. 2019. Взаимодействие экологической общности и энергетиков – залог устойчивого природопользования в Приамурье // Гидротехника. № 4 (57). С. 42-45.
 13. Телепорт.РФ. 2023. «РусГидро» приняла решение о строительстве новых ГЭС в Амурской области [Электронный ресурс <https://www.teleport2001.ru/news/2023-04-05/163920-rusgidro-prinyala-reshenie-o-stroitelstve-novykh-ges-v-amurskoy-oblasti.html> (дата обращения 5.04.2023)].
 11. Podolsky SA. The main threats to natural complexes in connection with hydro-construction and the possibility of environmentally sustainable development of water resources in the Amur region [Osnovnyye ugrozy prirodnym kompleksam v svyazi s gidrostitel'stvom i vozmozhnosti ekologicheski-ustoychivogo osvoyeniya vodnykh resursov Priamur'ya] *Hydrotechnics [Gidrotekhnika]*. 2017;3:57-60.
 12. Podolsky SA, Ignatenko SYu, Kastrikin VA. Interaction between the environmental community and power engineers is the key to sustainable environmental management in the Amur region [Vzaimodeystviye ekologicheskoy obshchestvennosti i energetikov – zalog ustoychivogo prirodopol'zovaniya v Priamur'ye] *Hydrotechnics [Gidrotekhnika]*. 2019;4 (57):42-45.
 13. Teleport.RF. RusHydro has decided to build new HPPs in the Amur Region [RusHydro has decided to build new HPPs in the Amur Region]. 2023, Available at <https://www.teleport2001.ru/news/2023-04-05/163920-rusgidro-prinyala-reshenie-o-stroitelstve-novykh-ges-v-amurskoy-oblasti.html> (Date of Access 5/04/2023).

UDC 502,743; 502,35; 504.4.062.2; 621.311.212

ENVIRONMENTAL HAZARD OF SELEMDZHINA AND NIZHNE-ZEYSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATIONS

© 2023. S.A. Podolsky*,**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences
3, Gubkina Str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: sergpod@mail.ru

**Zeya State Nature Reserve
71, Stroitel'naya Str., Zeya, Amur Region, 676246, Russia. E-mail: zzap@mail.ru

Received May 01, 2023. Revised May 31, 2023. Accepted Juni 01, 2023.

On April 5, 2023, Teleport.RF (2023) cited the Russian News Agency TASS that reported about RusHydro's decision to build the Selemdzhina and Lower Zeya Hydroelectric Power Plants in the Amur Region. After several settlements in the Far East were flooded, the federal authorities ordered hydroconstructors "to design and create hydraulic structures in the Amur River basin to protect the local population from floods". An exact fulfillment of this order can lead to an ecological catastrophe for the entire Amur Region.

The Amur River and its tributaries have extremely high (up to 270 times) natural fluctuations in runoff, from 150 to 40,000 m³/sec, the maximal volume for this country. The creation of large reservoirs with the necessary flood protection tanks will be followed by many negative environmental and social consequences.

The construction of Selemdzha and Lower Zeya Plants cannot control the floods, but it will guarantee many critical problems in the future. The Selemdzha Dam will cause several large settlements, a section of the Baikal–Amur Mainline and regional highways disappear under water. The final water area will be about 800 km². Violating the Russian law on specially protected nature areas, Selemdzha Reservoir will flood most of the Nora Nature Reserve, while irreparably damaging the remaining protected terrestrial ecosystems. These wetlands provide valuable habitats for at least 29 rare and protected bird species, for some of which the seasonally flooded habitats are of major regional and sometimes global importance. For example, the black stork has a uniquely high population density there, about 1 ind. per 100 km², while the Oriental stork and the red-crowned crane use it for their northernmost nesting site. Additionally, it's the habitat of a large and isolated nesting group of the hooded crane and the only stable group of Blakiston's fish owl in the Amur Region.

The future location of the Selemdzha and Lower Zeya dams, while amplifying the negative impacts of both reservoirs, will have an inevitable and severe cumulative effect on local ecosystems. First of all, this will destroy the last large migratory groups of the Siberian roe deer, contrary to the Russian law on wildlife, and cause a sharp drop in the biodiversity of the north part of the Amur Region. The Selemdzha Reservoir will make the main breeding grounds inaccessible, while the Lower Zeya Reservoir will block the paths leading roe deer to their wintering sites. Simultaneous flooding of valley biotopes in the middle reaches of the Zeya and Selemdzha Rivers will block the main ecological corridors, therefore destroying the habitats of many rare species of both animals and plants.

The danger of these projects has already been confirmed by expert's researches and opinions. Thus, the Selemdzha (Dagmar) Hydroelectric Power Plant project was rejected by the USSR environmental review; the environmental hazard of the Lower Zeya Plant was proven in a report provided as part of the program "Russian Ministry of Natural Resources – United Nations Development Program/Global Environment Facility". The optimal solution to this problem is to consider the construction of new hydroelectric facilities not as a universal measure, but as a part of the presented comprehensive program to prevent negative social consequences from floods. In the Amur Region the hydropower plants can be placed in a way that fully complies with such approach: e.g. Ekimchan (upper reaches of the Selemdzha River) and Upper Ninam (upper reaches of the Niman River, left tributary of the Bureya River) promising sites where the construction of hydroelectric plants would require the lowest social and ecological costs. An objective analysis shows that the decision to build the Selemdzha and Lower Zeya Plants meets only the departmental interests of hydro and power engineers. This one-sided approach cannot be allowed, because it will cause enormous environmental and socio-ecological damage to the region. Among other things, the positive idea of the federal authorities about effective assistance provided to the locals will be pretty much discredited. On the other hand, the choice of optimal sites and the rejection of the most environmentally hazardous ones, as well as an integrated approach to preventing the negative consequences of floods, will make it possible to take a step towards the environmentally sustainable development of the Amur Region.

Keywords: flood control, Selemdzha and Lower Zeya Hydroelectric Power Plants, environmental hazard, disrupted migrations, Siberian roe deer, rare bird species, biodiversity decline.

Funding. This work was carried out for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, topic No. FMWZ-2022-0002 "Research of Geoecological Processes in Hydrological Land Systems, in Formation of the Quality of Surface and Ground Water, Problems of Water Resources Management and Water Use under Climate Change and Anthropogenic Impacts", as well as for the Zeya State Nature Reserve, State Order No. 051-00007-22-00 "Dynamics of Phenomena and Processes in the Ecosystems of the Zeya Reserve and Tokinsko-Stanovoy National Park".

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-176-190

EDN: DGFWBG

УДК 581.5; 581.6; 581.9

НАУЧНЫЙ И ТВОРЧЕСКИЙ ПУТЬ ЕЛЕНА ГЕРМАНОВНЫ СУСЛОВОЙ (17.01.1952-18.04.2023)

© 2023 г. Т.В. Дикарева

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: tvdikareva@yandex.ru*

Поступила в редакцию 02.05.2023. После доработки 15.05.2023. Принята к публикации 30.05.2023.

Статья посвящена научному и жизненному пути Елены Германовны Сусловой – доцента кафедры биогеографии Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова. Вся жизнь Елены Германовны связана с кафедрой. Она окончила кафедру биогеографии в 1974 году и осталась на ней работать – сначала ассистентом, потом, на протяжении многих лет, – доцентом. В 1996 году защитила кандидатскую диссертацию. За долгие годы работы на кафедре Елена Германовна воспитала несколько поколений биогеографов, проводя занятия в Музее землеведения. Большое внимание она уделяла практикам: занималась их развитием в Сатино, проводила дальние практики во многих регионах России, разрабатывала методические пособия. Елена Германовна была блестящим знатоком флоры Европейской России и Кавказа, а её вклад в изучение и охрану редких растений невозможно переоценить. Долгие годы Елена Германовна сотрудничала с природоохранным фондом «Верховье» в области мониторинга редких видов растений Московской области и создания особо охраняемых природных территорий. Огромный вклад она внесла в создание Красной книги Московской области. Елена Германовна была выдающимся педагогом, подготовившим множество высококлассных специалистов.

Ключевые слова: Елена Германовна Суслова, знаток флоры, педагог, охрана редких видов растений.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-191-249

EDN: C1CDQE



Елена Германовна Суслова окончила географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в 1974 году. Вся ее дальнейшая научно-педагогическая деятельность была связана с географическим факультетом Московского университета, где она прошла путь от старшего лаборанта кафедры биогеографии до доцента, блестяще защитила кандидатскую диссертацию, опубликовала более 250 научных трудов.

В круг ее научных интересов входили проблемы географии и охраны биоразнообразия, ботанической географии, закономерностей распределения, динамики и картографирования

растительности равнинных и горных территорий Московской области, Центрального и Западного Кавказа.

В течение последних 20 лет она участвовала в работах по инвентаризации, реорганизации и организации федеральных и региональных особо охраняемых территорий (ООПТ), мониторингу редких охраняемых видов растений и грибов Московской области и Краснодарского края. Будучи членом Комиссии по редким и находящимся под угрозой исчезновения видам животных, растений и грибов Московской области, она является автором и редактором Красной книги Московской области (2008, 2018). Более 10 лет она выступала экспертом-экологом по зеленым стандартам BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) в рамках экологической сертификации ряда объектов г. Москвы, Московской и других областей России.

Более 45 лет Елена Германовна Сусллова вела педагогическую деятельность. Она читала авторские курсы лекций и семинары по курсам «Разнообразие организмов: систематика и география растений», «Структура организмов. Растения: морфология и анатомия», «Растения в ландшафтной архитектуре и основы ландшафтного дизайна», «Методы определения сосудистых растений, мхов и лишайников», «Современная международная биогеографическая и экологическая терминология», проводила семинарские занятия в Музее земледелия по курсу «Экология с основами биогеографии». В рамках Программы дополнительного послевузовского образования «Экология и рациональное природопользование» ежегодно вела дистанционный курс «Эстетика и дизайн ландшафта». Многие годы она руководила летними учебными и производственными практиками студентов. Под ее руководством выполнены десятки курсовых, дипломных, бакалаврских работ и магистерских диссертаций.

Елена Германовна Сусллова вела большую учебно-методическую и организационную работу. Отвечала на кафедре за методическую работу, обновление и редактирование учебных программ. Являлась одним из разработчиков раздела сайта по темам семинарских занятий студентов первого курса в Музее земледелия. Ей было присуждено звание «Почетный преподаватель Московского университета имени М.В. Ломоносова», она была награждена премией по Программе развития МГУ за создание электронного учебного пособия «Биогеографическая характеристика природных зон России и сопредельных территорий». За многолетнюю плодотворную работу по совершенствованию учебного процесса, развитию научных исследований, подготовке высококвалифицированных специалистов и в связи с 80-летием географического факультета она была награждена грамотой «Благодарность ректора МГУ».

Большую редакторскую работу Елена Германовна вела в научных журналах «Аридные экосистемы» и «Экосистемы: экология и динамика». С самого основания журнала «Аридные экосистемы» в 1995 году Елена Германовна была активным и бесценным рецензентом не только русскоязычных авторов, но в большей степени англоязычных статей, объективно и вдумчиво подходя к отзывам на каждую работу, часто давая авторам необходимые советы по улучшению поданных материалов. Со дня основания электронного научного журнала «Экосистемы: экология и динамика» в 2017 году Елена Германовна была активно работающим членом редакционной коллегии журнала, также выступая и в качестве рецензента поступающих статей по своему научному направлению.

Много сил и любви Елена Германовна уделяла семье. Она вырастила сына, который закончил Институт физкультуры, стал членом сборной России и мастером спорта международного класса. Дача, ее любимое детище, всегда была наполнена цветами и друзьями. Елена Германовна всегда помнила и любила своих учителей, с уважением относилась к сотрудникам по кафедре, с подавляющим большинством по-человечески дружила.

18 апреля 2023 года после тяжелой болезни на 72-ом году Елена Германовна ушла из жизни. Уход ее – невосполнимая потеря для кафедры, факультета, университета, редакций журналов «Аридные экосистемы» и «Экосистемы: экология и динамика». Светлая ей память.

ФОТОАРХИВ



Фото 1. Елена Германовна Сулова (в центре) с группой студентов на практике, г. Уфа, 1978 г. (фото Т.В. Дикаревой). **Photo 1.** Elena Germanovna Suslova (center) with students, field practice in Ufa, 1978 (photo by T.V. Dikareva).



Фото 2. Елена Германовна Сулова в экспедиции со студентами в Башкирии с Н.Н. Дроздовым, 1978 г. (фото Т.В. Дикаревой). **Photo 2.** Elena Germanovna Suslova with N.N. Drozdov, on a student expedition to Bashkiria, 1978 (photo by T.V. Dikareva).



Фото 3. Елена Германовна Суслова в экспедиции в Утрише, 2005 г. (ото А. Кадетовой).
Photo 3. Elena Germanovna Suslova on an expedition to Utrish, 2005 (photo by A. Kadetova).



Фото 4. Елена Германовна Суслова с О.А. Леонтьевой в экспедиции в Утрише, 2005 г. (фото А. Кадетовой).
Photo 4. Elena Germanovna Suslova with O.A. Leontieva on an expedition to Utrish, 2005 (photo by A. Kadetova).



Фото 5. Елена Германовна Сулова за работой в экспедиции в Утрише, 2005 г. (фото А. Кадетовой). **Photo 5.** Elena Germanovna Suslova working on an expedition to Utrish, 2005 (photo by A. Kadetova).



Фото 6. Елена Германовна Сусллова на кафедре биогеографии МГУ в гербарии, 2006 г. (фото Т.В. Дикаревой). **Photo 6.** Elena Germanovna Suslova in the herbarium room of the Biogeography Department of Moscow State University, 2006 (photo by T.V. Dikareva).



Фото 7. Елена Германовна Суслва (второй ряд, в центре) и сотрудники кафедры биogeографии МГУ, 2006 г. (фото А. Кадетовой).
Photo 7. Elena Germanovna Suslova (second row, center) and other employees of the Biogeography Department of Moscow State University, 2006 (photo by A. Kadetova).



Фото 8. Елена Германовна Сусллова в Московской области, где, работая на подряде у компании «Верховье», готовила обоснования для признания отдельных территорий особо охраняемыми, 2014 г. (фото А. Кадетовой). **Photo 8.** Elena Germanovna Suslova in Moscow Region, working with the nature conservation fund “Verkhovye” to make it possible to recognize some nature areas as specially protected territories, 2014 (photo by A. Kadetova).



Фото 9. Елена Германовна Суслова, 2017 г. (фото А. Кадетовой).
Photo 9. Elena Germanovna Suslova in 2017 (photo by A. Kadetova).



Фото 10. Елена Германовна Сусллова на конференции в Санкт-Петербурге, посвященной юбилею кафедры биогеографии Санкт-Петербургского университета, 2018 г. (фото Т.В. Дикаревой). **Photo 10.** Elena Germanovna at the conference in Saint-Petersburg dedicated to the anniversary of the Biogeography Department of St. Petersburg University, 2018 (photo by T.V. Dikareva).

**ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ
Е.Г. СУСЛОВОЙ**

**FEATURED WORKS OF
E.G. SUSLOVA**

Книги

Books

- | | |
|---|--|
| <p>1. <i>Огуреева Г.Н., Суслова Е.Г., Микляева И.М., Романов А.А., Румянцев В.Ю., Дикарева Т.В., Бочарников М.В., Кадетов Н.Г., Орлов Д.С.</i> 2019. Биogeографическая характеристика природных зон России и сопредельных территорий: учебное пособие по курсу «Экология с основами биогеографии». М.: Географический факультет МГУ. ISBN 978-5-89575-243-2. 360 с.</p> <p>2. <i>Леонтьева О.А., Кожин М.Н., Кадетов Н.Г., Рец Е.П., Серегин А.П., Петрушина М.Н., Рудовский В.С., Хляп Л.А.</i> 2015. Летняя практика по биогеографии на Западном Кавказе: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ. ISBN 978-5-906592-43-9. 227 с.</p> <p>3. <i>Суслова Е.Г., Варлыгина Т.И., Русанов А.В.</i> 2015. Охрана редких видов растений в Подмоскowie. Saarbrucken: Deutschland Lambert Academic Publishing. ISBN 978-3-659-71501-3. 76 с.</p> <p>4. <i>Воскресенский И.С., Суслова Е.Г., Очагов Д.М., Русанов А.В., Русанов В.А.</i> 2015. Подмоскowie заповедное. М.: Планета Москва. ISBN 978-5-7151-0309-1. 360 с.</p> <p>5. <i>Суслова Е.Г., Добрушин Ю.В., Русанов А.В.</i> 2014. Материалы по ведению Красной книги Московской области. Вып. 2. М.-Одинцово: Перо. ISBN 978-5-00086-186-8. 48 с.</p> <p>6. <i>Русанов А.В., Суслова Е.Г.,</i> <i>Зубакин В.А., Варлыгина Т.И.,</i></p> | <p>1. <i>Ogureeva GN, Bobrov AV, Suslova EG, Leonova NB, Miklyayeva IM, Emelyanova LG, Romanov AA, Mironova VA, Rumyantsev VYu, Soldatov MS, Dikareva TV, Koroleva EG, Bocharnikov MV, Leontieva OA, Kadetov NG, Levik LYu, Orlov DS.</i> Biogeographical characteristics of the natural zones of Russia and adjacent territories [<i>Biogeograficheskaya kharakteristika prirodnykh zon Rossii i sopredel'nykh territoriy</i>] <i>Textbook for the course "Ecology with the basics of biogeography" [Uchebnoye posobiye po kursu "Ekologiya s osnovami biogeografii"]</i>. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, ISBN 978-5-89575-243-2, 2019:360.</p> <p>2. <i>Leontieva OA, Suslova EG, Kozhin MN, Gongalsky KB, Kadetov NG, Kadetova AA, Rets EP, Seregin AP, Petrushina MN, Rudovsky VS, Khlyap LA.</i> Summer practice in biogeography in the Western Caucasus: A Textbook [<i>Letnyaya praktika po biogeografii na Zapadnom Kavkaze: uchebnoye posobiye</i>]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, ISBN 978-5-906592-43-9, 2015:227.</p> <p>3. <i>Suslova EG, Varlygina TI, Rusanov AV.</i> Protection of rare plant species in the Moscow region [<i>Okhrana redkikh vidov rasteniy v Podmoskov'ye</i>]. Saarbrucken: Deutschland Lambert Academic Publishing, ISBN 978-3-659-71501-3, 2015:76.</p> <p>4. <i>Voskresensky IS, Ivanov AN, Suslova EG, Dobrushin YuV, Ochagov DM, Pozhidaeva NV, Rusanov AV, Rusanov VA.</i> Reserved suburbs of Moscow [<i>Podmoskov'ye zapovednoye</i>]. Moscow: Planeta Moskva, ISBN 978-5-7151-0309-1, 2015:360.</p> <p>5. <i>Suslova EG, Rusanov AV, Dobrushin YuV.</i> Materials for keeping the Red Data Book of the Moscow Region [<i>Materialy po vedeniyu Krasnoy knigi Moskovskoy oblasti</i>]. Moscow-Odintsovo: Pero, ISBN 978-5-00086-186-8, 2014;2:48.</p> |
|---|--|

- Никитский Н.Б.* 2013. Материалы по ведению Красной книги Московской области. Вып. 1. / Ред. А.Б. Шомахов, Т.Ю. Толпышев, П.В. Воеводин, Н.В. Пожидаев. М.–Одинцово. ISBN 978-5-94018-023-4. 64 с.
7. *Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Сулова Е.Г., Корбут В.В., Игнатов М.С., Серегин А.П., Мяло Е.Г., Дикарева Т.В., Афанасьева Н.Б., Леонова Н.Б.* 2010. Большая детская энциклопедия. Т. 43. Ботаника / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: Астрель, Мир энциклопедий Аванта. ISBN 978-5-98986-430-0. 432 с.
8. *Голубева Е.И., Король Т.О., Казаков Л.К., Моисеева О.Э., Саянов А.А., Смолицкая Т.А., Сулова Е.Г., Теодоронский В.С.* 2010. Эстетика и дизайн ландшафта: учебное пособие / Ред. Е.И. Голубева, Т.О. Король. М.: КноРус. ISBN 978-5-406-01359-5. 448 с.
9. *Варлыгина Т.И., Вахрамеева М.Г., Алексеев Ю.Е., Киселева К.В., Новиков В.С., Октябрева Н.Ю., Сулова Е.Г., Тихомиров В.Н., Швецов А.Н., Щербаков А.В.* 2008. Красная книга Московской области (изд. 2-е доп. и переработ.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.А. Соболев. М.: Товарищество научных изданий КМК. ISBN 978-5-87317-500-0. 828 с.
10. *Гонгальский К.Б., Леонтьева О.А., Сулова Е.Г.* (редакторы). 2007. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа: сборник научных трудов. М.: Географический факультет МГУ. 184 с.
11. *Русанов А.В., Аршинова М.А., Сулова Е.Г.* 2004. Организация управляемого рекреационного использования бассейна верхней р. Москвы [Recreation Management in the Upper Moskva River Basin]. М.: Ринг Консалтинг. 40 с. (текст на
6. *Rusanov AV, Zubakin VA, Suslova EG, Varlygina TI, Nikitsky NB.* Materials for keeping the Red Book of the Moscow Region [*Materialy po vedeniyu Krasnoy knigi Moskovskoy oblasti*] / eds. A.B. Shomakhov, T.Yu. Tolpyshev, P.V. Voevodin, N.V. Pozhidaev. Moscow-Odintsovo, ISBN 978-5-94018-023-4, 2013;1:64.
7. *Ogureeva GN, Miklyaeva IM, Suslova EG, Korbut VV, Ignatov MS, Seregin AP, Myalo EG, Dikareva TV, Afanasyeva NB, Leonova NB.* Great children's encyclopedia [*Bol'shaya detskaya entsiklopediya*] *Botany [Botanika]* / ed. G.N. Ogureeva. Moscow: Astrel', Mir entsiklopediy Avanta, ISBN 978-5-98986-430-0, 2010;43:432.
8. *Golubeva EI, Korol TO, Kazakov LK, Moiseeva OE, Sayanov AA, Smolitskaya TA, Suslova EG, Teodoronsky VS.* Aesthetics and landscape design: a textbook [*Estetika i dizayn landshafta: uchebnoye posobiye*] / eds. E.I. Golubeva, T.O. King. Moscow: KnoRus, ISBN 978-5-406-01359-5, 2010:448.
9. *Varlygina TI, Vakhrameeva MG, Alekseev YuE, Kiseleva KV, Novikov VS, Oktyabreva NYu, Suslova EG, Tikhomirov VN, Shvetsov A N, Shcherbakov AV.* Red Data Book of the Moscow Region, 2nd ed., supplemented and revised [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.A. Sobolev. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, ISBN 978-5-87317-500-0, 2008:828.
10. *Gongalsky KB, Leontieva OA, Suslova EG* (eds.). Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus: a collection of scientific papers [*Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza: sbornik nauchnykh trudov*]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2007:184.
11. *Rusanov AV, Arshinova MA, Suslova EG.* Recreation management in the Upper Moskva River Basin [*Organizatsiya upravlyayemogo rekreatsionnogo ispol'zovaniya basseyna verkhney r. Moskvyy*]. Moscow: Ring Konsalting, 2004:40 (text available in Russian and English + 8 colored appendices: maps, tables).

- русском и английском языках + 8 цвет. вклеек: карты, таблицы).
12. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Микляева И.М., Румянцев В.Ю., Леонтьева О.А. 2003. Растительный и животный мир Сатинского учебного полигона: учебное пособие. М.: МГУ. 60 с.
 13. Khens L., Bun E.K., Sinitsyn M.G., Solntsev V.N., Alekseev B.A., Alyautdinov A.R., Baskin L.M., Bolysov S.I., Vasilevskaya V.D., Rusanov A.V., Suslova E.G., Fuzeina Yu.N. 2001. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans. Moscow: A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RASc. 191 p.
 14. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Котова Т.В. 2001. Карта грибника. Московская область (карта 96 х 78 и текст). М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”, ООО “Издательство Астрель”. 1 л.
 15. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Котова Т.В. 2001. Карта ягодника. Московская область (карта 96 х 78 и текст). М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”, ООО “Издательство Астрель”. 1 л.
 16. Хенс Л., Бун Э.К., Синицын М.Г., Русанов А.В., Солнцев В.Н., Алексеев Б.А., Аляутдинов Б.А.Р.Л.М., Бобысов С.И., Вандендриес Г., Васильевская В.Д., Дгебуадзе Ю.Ю., Зайцев В.А., Крылов А.В., Сулова Е.Г., Фузеина Ю.Н. 2001. Комплексная геоэкологическая практика в южной тайге. М.: ИПЭЭ РАН. ISBN 5-86695-012-X. 212 с.
 17. Синицын М.Г., Бобысов С.И., Русанов А.В., Солнцев-Эльбе В.Н., Сулова Е.Г., Фузеина Ю.Н. 2001. Костромское Заволжье: природа и человек. М.: ИПЭЭ РАН. 199 с.
 18. Огуреева Г.Н., Котова Т.В., Микляева И.М., Сулова Е.Г. 2001. Краткий атлас-справочник грибника и ягодника: Москва и Московская 12. Ogureeva GN, Suslova EG, Miklyaeva IM, Rummyantsev VYu, Leontieva OA. Flora and fauna of the Satinsky training ground: a textbook [*Rastitel'nyy i zhivotnyy mir Satinskogo uchebnogo poligona: uchebnoye posobiye*]. Moscow: MGU, 2003:60.
 13. Khens L, Bun EK, Sinitsyn MG, Solntsev VN, Alekseev BA, Alyautdinov AR, Baskin LM, Bolysov SI, Vasilevskaya VD, Rusanov AV, Suslova EG, Fuzeina YuN. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans. Moscow: A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RASc, 2001:191.
 14. Ogureeva GN, Suslova EG, Kotova TV. Map for the mushroom pickers [*Karta gribnika*] Moscow Region (map 96 x 78 + text) [*Moskovskaya oblast' (karta 96 kh 78 i tekst)*]. Moscow: IPTS “Dizayn. Informatsiya. Kartografiya”, ООО “Izdatel'stvo Astrel’”, 2001:1.
 15. Ogureeva GN, Suslova EG, Kotova TV. Map for the berry pickers [*Karta yagodnika*] Moscow Region (map 96 x 78 + text) [*Moskovskaya oblast' (karta 96 kh 78 i tekst)*]. Moscow: IPTS “Dizayn. Informatsiya. Kartografiya”, ООО “Izdatel'stvo Astrel’”, 2001:1.
 16. Hens L, Boon EK, Sinitsyn MG, Rusanov AV, Solntsev VN, Alekseev BA, Alyautdinov BARLM, Bolysov SI, Vandendries G, Vasilievskaya VD, Dgebuadze YuYu, Zaitsev VA, Krylov AV, Suslova EG, Fuzeina YuN. Integrated geoeological practice in the southern taiga [*Kompleksnaya geoekologicheskaya praktika v yuzhnoy tayge*]. Moscow: IPEE RAN, ISBN 5-86695-012-X, 2001:212.
 17. Sinitsyn MG, Bolysov SI, Rusanov AV, Solntsev-Elbe VN, Suslova EG, Fuzeina YuN. Kostroma Zavolzhye: nature and man [*Kostromskoye Zavolzh'ye: priroda i chelovek*]. Moscow: IPEE RAN, 2001:199.
 18. Ogureeva GN, Kotova TV, Miklyaeva IM, Suslova EG. Brief atlas-reference book of mushroom and berry pickers: Moscow and Moscow region [*Kratkiy atlas-spravochnik gribnika i yagodnika: Moskva i Moskovskaya oblast'*]. Moscow: IPTS “Dizayn. Informatsiya. Kartografiya”, ООО

- область. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», ООО «Издательство Астрель», ООО «Издательство АСТ». ISBN 5-287-00012-X. 224 с.
19. Жуков В.Т., Лазарев Г.Е., Чистов С.В., Мотовилова М.С., Агишева О.Н., Барвынь Г.И., Ворожейкин А.П., Выгодская Н.Н., Дронин Н.М., **Суслова Е.Г., Фадеева Е.В. 2001.** Оценка экологического состояния городских территорий на основе комплексных методов исследований. М.: МГУ. 62 с.
20. Огуреева Г.Н., **Суслова Е.Г. 2000.** Систематика и география растений. Высшие споровые и голосеменные: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ. ISBN 5-211-04315-4. 107 с.
21. Огуреева Г.Н., **Суслова Е.Г. 1999.** Систематика и география растений. Покрытосеменные: учебное пособие. М.: МГУ. 108 с.
22. Огуреева Г.Н., Микляева И.М., **Суслова Е.Г., Швергунова Л.В. 1996.** Карта «Растительность Московской области», масштаб 1:200000. М.: Экор. 4 с.
23. Огуреева Г.Н., Микляева И.М., **Суслова Е.Г., Швергунова Л.В. 1996.** Растительность Московской области. Пояснительный текст к карте (масштаб 1:200000). М.: Экор. 45 с.
24. **Суслова Е.Г. 1996.** Структура и динамика дубрав Среднерусской лесостепи. Автореферат дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 20 с.
25. Голубева Е.И., Куприна А.В., Леонтьева О.А., Микляева И.М., Румянцев В.Ю., Брунов В.В., **Суслова Е.Г. 1992.** Биogeография с основами экологии (Биogeографическая характеристика природных зон СССР): учебно-методическое пособие / Ред. А.Г. Воронов, Д.А. Криволицкий, Е.Г. Мяло. М.: Издательство Московского университета. 104 с.
- “Izdatel’stvo Astrel’”, ООО “Izdatel’stvo AST”, ISBN 5-287-00012-X, 2001:224.
19. Zhukov VT, Lazarev GE, Chistov SV, Motovilova MS, Agisheva ON, Barvyn GI, Vorozheikin AP, Vygodskaya NN, Dronin NM, Suslova EG, Fadeeva EV. Assessment of the ecological state of urban areas based on integrated research methods [*Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya gorodskikh territoriy na osnove kompleksnykh metodov issledovaniy*]. Moscow: MGU, 2001:62.
20. Ogureeva GN, Suslova EG. Systematics and geography of plants [*Sistematika i geografiya rasteniy*] Higher spore and gymnosperms: textbook [*Vysshiyе sporovyye i golosemennyye: uchebnoye posobiye*]. Moscow: Geograficheskiy fakul’tet MGU, ISBN 5-211-04315-4, 2000:107.
21. Ogureeva GN, Suslova EG. Systematics and geography of plants [*Sistematika i geografiya rasteniy*] Angiosperms: a textbook [*Pokrytosemennyye: uchebnoye posobiye*]. Moscow: MGU, 1999:108.
22. Ogureeva GN, Miklyaeva IM, Suslova EG, Shvergunova LV. Map “Vegetation of the Moscow region” (scale 1:200000) [Karta “Rastitel’nost’ Moskovskoy oblasti” (masshtab 1:200000)]. Moscow: Ekor, 1996:4.
23. Ogureeva GN, Miklyaeva IM, Suslova EG, Shvergunova LV. Vegetation of the Moscow region [*Rastitel’nost’ Moskovskoy oblasti*] Explanatory text for the map (scale 1:200000) [*Poyasnitel’nyy tekst k karte (masshtab 1:200000)*]. Moscow: Ekor, 1996:45.
24. Suslova EG. Structure and dynamics of oak forests of the Central Russian forest-steppe [*Struktura i dinamika dubrav Srednerusskoy lesostepi*] Abstract of Geography PhD Thesis. Moscow: MGU, 1996:20.
25. Golubeva EI, Kuprina AV, Leontyeva OA, Miklyaeva IM, Rumyantsev VYu, Brunov VV, Suslova EG. Biogeography and the basics of ecology (Biogeographical characteristics of the natural zones of the USSR): study guide [*Biogeografiya s osnovami ekologii (Biogeograficheskaya*

26. Ванькова О.С., Сулова Е.Г. 1992. Цветы в вашем доме. М.: Знание. 80 с.
27. Таскаева Н.А., Егорова Н.Я., Соколова Н.Л., Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 1979. Дополнение к флоре Сатинского учебного полигона географического факультета МГУ: учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ. 13 с.
- kharakteristika prirodnykh zon SSSR): uchebno-metodicheskoye posobiye]* / eds. A.G. Voronov, D.A. Krivolutsky, E.G. Mialo. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1992:104.
26. Vankova OS, Suslova EG. Flowers in your house [*Tsvety v vashem dome*]. Moscow: Znaniye, 1992:80.
27. Taskaeva NA, Egorova NYa, Sokolova NL, Ogureeva GN, Suslova EG. Addition to the flora of the Satinsky training ground of the Faculty of Geography of Moscow State University: a textbook [*Dopolneniye k flore Satinskogo uchebnogo poligona geograficheskogo fakul'teta MGU: uchebnoye posobiye*]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 1979:13.

Статьи

Articles

1. Chernenkova T., Kotlov I., Belyaeva N., Suslova E., Lebedeva N. 2023. Environmental Performance of Regional Protected Area Network: Typological Diversity and Fragmentation of Forests // *Remote Sensing*. Vol. 15. No. 1.
2. Chernenkova T.V., Belyaeva N.G., Suslova E.G., Aristarkhova E.A., Kotlov I.P. 2023. Patterns of the Red-listed Epiphytic Species Distribution in Coniferous-deciduous Forests of the Moscow Region // *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 16. No. 1. P. 119-131.
3. Belyaeva N.G., Morozova O.V., Chernen'kova T.V., Korznikov K.A., Suslova Ye.G. 2022. Small-Leaved Forests of the Center of the East European Plain: Ecology and Regeneration Prospects of Native Forests // *Contemporary Problems of Ecology*. Vol. 15. No. 7. P. 817-830.
4. Aristarkhova E.A., Шадчинов С.М., Сулова Е.Г. 2022. Использование метода сеточного картографирования для изучения распространения лишайников
1. Chernenkova T, Kotlov I, Belyaeva N, Suslova E, Lebedeva N. Environmental Performance of Regional Protected Area Network: Typological Diversity and Fragmentation of Forests. *Remote Sensing*. 2023;15 (1).
2. Chernenkova TV, Belyaeva NG, Suslova EG, Aristarkhova EA, Kotlov IP. Patterns of the Red-listed Epiphytic Species Distribution in Coniferous-deciduous Forests of the Moscow Region. *Geography, Environment, Sustainability*. 2023;16 (1):119-131.
3. Belyaeva NG, Morozova OV, Chernen'kova TV, Korznikov KA, Suslova YeG. Small-Leaved Forests of the Center of the East European Plain: Ecology and Regeneration Prospects of Native Forests. *Contemporary Problems of Ecology*. 2022;15 (7):817-830.
4. Aristarkhova EA, Shadchinov SM, Suslova EG. Using the grid mapping method to study the distribution of lichens of the genus *Usnea* on the example of the Moscow region [Ispol'zovaniye metoda setochnogo kartografirovaniya dlya izucheniya rasprostraneniya lishaynikov roda *Usnea* na primere Podmoskov'ya]. *Geographical Herald [Geograficheskiy vestnik]*. 2022;2:123-138.
5. Belyaeva NG, Morozova OV, Chernenkova TV, Korznikov KA, Suslova EG. Small-leaved

- рода Уснея на примере Подмосковья // Географический вестник. № 2. С. 123-138.
5. *Беляева Н.Г., Морозова О.В., Черненкова Т.В., Корзников К.А., Суслова Е.Г.* **2022.** Мелколиственные леса центра Русской равнины: экология и перспективы возобновления коренных сообществ // Лесоведение. № 2. С. 115-131.
 6. *Черненкова Т.В., Котлов И.П., Беляева Н.Г., Суслова Е.Г., Морозова О.В.* **2022.** Оценка и картографирование ценотического разнообразия лесов Московского региона // Лесоведение. № 6. С. 617-630.
 7. *Морозова О.В., Беляева Н.Г., Гнеденко А.Е., Жмылёв П.Ю., Суслова Е.Г., Черненкова Т.В.* **2022.** Синтаксономическое разнообразие берёзовых и осиновых лесов Московской области на автоморфных почвах // Разнообразии растительного мира. № 2. С. 30-56.
 8. *Морозова О.В., Семенщеников Ю.А., Беляева Н.Г., Суслова Е.Г., Черненкова Т.В.* **2022.** Сложные боры: ботанико-географические различия, происхождение, распространение // Разнообразии растительного мира. № 3 (14). С. 19-40.
 9. *Chernenkova T., Kotlov I., Belyaeva N., Suslova E.* **2021.** Spatiotemporal Modeling of Coniferous Forests Dynamics along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain // Remote Sensing. Vol. 13. No. 10. P. 1886-1886.
 10. *Morozova O.V., Belyaeva N.G., Gnedenko A.E., Suslova E.G., Chernenkova T.V.* **2021.** Syntaxonomy and ecology of the Moscow Region Black Alder Communities // Растительность forests of the center of the Russian Plain: ecology and prospects for the renewal of indigenous communities [Melkolistvennyye lesa tsentra Russkoy ravniny: ekologiya i perspektivy vozobnovleniya korennykh soobshchestv]. *Forest Science [Lesovedenie]*. 2022;2:115-131.
 6. *Chernenkova TV, Kotlov IP, Belyaeva NG, Suslova EG, Morozova OV.* Assessment and mapping of the coenotic diversity of forests in the Moscow region [Otsenka i kartografirovaniye tsenoticheskogo raznoobraziya lesov Moskovskogo regiona]. *Forest Science [Lesovedenie]*. 2022;6:617-630.
 7. *Morozova OV, Belyaeva NG, Gnedenko AE, Zhmylev PYu, Suslova EG, Chernenkova TV.* Syntaxonomic diversity of birch and aspen forests of the Moscow region on automorphic soils [Sintaksonomicheskoye raznoobraziye berozovykh i osinovykh lesov Moskovskoy oblasti na avtomorfnykh pochvakh]. *Diversity of the Plant World [Raznoobraziye rastitel'nogo mira]*. 2022;2:30-56.
 8. *Morozova OV, Semenishchenkov YuA, Belyaeva NG, Suslova EG, Chernenkova TV.* Complex pine forests: botanical and geographical differences, origin, distribution [Slozhnyye bory: botaniko-geograficheskiye razlichiya, proiskhozhdeniye, rasprostraneniye]. *Diversity of the Plant World [Raznoobraziye rastitel'nogo mira]*. 2022;3 (14):19-40.
 9. *Chernenkova T, Kotlov I, Belyaeva N, Suslova E.* Spatiotemporal Modeling of Coniferous Forests Dynamics along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *Remote Sensing*. 2021;13 (10):1886-1886.
 10. *Morozova OV, Belyaeva NG, Gnedenko AE, Suslova EG, Chernenkova TV.* Syntaxonomy and ecology of the Moscow Region Black Alder Communities. *Plants of Russia [Rastitel'nost' Rossii]*. 2021;42:42-62.
 11. *Borisova EA, Kurganov AA, Suslova EG.* New locations of rare species of plants and fungi in the Ivanovo region [Novyye mestonakhozhdeniya redkikh vidov rasteniy i gribov v Ivanovskoy oblasti]. *Phytodiversity of Eastern Europe [Fitoraznoobraziye Vostochnoy Yevropy]*. 2021;15 (3):39-46.
 12. *Sofronova EV, Abdurakhmanova ZI, Afonina OM, Borovichev EA, Boychuk MA,*

- России. № 42. С. 42-62.
11. *Борисова Е.А., Курганов А.А., Сулова Е.Г.* 2021. Новые местонахождения редких видов растений и грибов в Ивановской области // Фиторазнообразии Восточной Европы. Т. 15. № 3. С. 39-46.
 12. *Sofronova E.V., Abdurakhmanova Z.I., Afonina O.M., Borovichev E.A., Boychuk M.A., Cherednichenko O.V., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dulin M.V., Esina I.G., Fedosov V.E., Freydin G.L., Gadzhiataev M.G., Grishutkin O.G., Ignatov M.S., Ignatova E.A., Kessel D.S., Khapugin A.A., Kozhin M.N., Kushnevskaya E.V., Kuzmina E.Yu., Maksimov A.I., Moshkovskii S.A., Popova N.N., Potemkin A.D., Semenova N.A., Shchukina K.V., Sinichkina A.D., Smirnova E.V., Suslova E.G., Tubanova D.Ya., Zheleznova G.V.* 2021. Новые бриологические находки // *Arctoa*. Т. 30. № 2. С. 465-477.
 13. *Chernenkova T., Kotlov I., Belyaeva N., Morozova O., Pesterova O., Arkhipova M.* 2020. Role of Silviculture in the Formation of Norway Spruce Forests along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *FORESTS*. 2020;11 (7):778.
 14. *Ogureeva G.N., Bocharnikov M.V., Suslova E.G.* 2020. Structure of the Botanical Diversity of the Utrish–Tuapse Variant of the Crimean–Novorossiysk Orobion. *Arid Ecosystems*. 2020;10 (4):261-268.
 15. *Chernenkova TV, Suslova EG, Morozova OV, Belyaeva NG, Kotlov IP.* Biodiversity of forests in the Moscow region [Bioraznoobraziye lesov Moskovskogo regiona]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2020;4 (3):60-144.
 16. *Aristarkhova EA, Suslova EG, Shadchinov SM.* Diversity and distribution of lichens of the genus *Brioria* (*Bryoria*) in the Moscow region [Raznoobraziye i rasprostraneniye lishaynikov roda brioriya (*Bryoria*) v Moskovskoy oblasti]. *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2020;5:88-97
 17. *Ogureeva GN, Bocharnikov MV, Suslova EG.* Structure of the botanical diversity of the Utrish–Tuapse variant of the Crimean–Novorossiysk orobiome [Struktura botanicheskogo raznoobraziya Utrishsko-Tuapsinskogo varianta Krymsko-Novorossiyskogo orobioma]. *Arid Ecosystems*. 2020;26 (4):10-17.
 18. *Kadetov NG, Suslova EG.* Specifics and opportunities of transboundary specially protected natural areas on the example of the Moscow region [Spetsifika i vozmozhnosti transgranichnykh osobo okhranyayemykh prirodnikh territoriy na primere Moskovskoy

16. *Аристархова Е.А., Сулова Е.Г., Шадчинов С.М.* **2020.** Разнообразие и распространение лишайников рода бриория (*Bryoria*) в Московской области // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 5. С. 88-97
17. *Огуреева Г.Н., Бочарников М.В., Сулова Е.Г.* **2020.** Структура ботанического разнообразия Утришско-Туапсинского варианта Крымско-Новороссийского оробиома // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 10-17.
18. *Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г.* **2020.** Специфика и возможности трансграничных особо охраняемых природных территорий на примере Московской области // Антропогенная трансформация природной среды. № 6. С. 31-35.
19. *Bocharnikov M.V., Petrushina M.N., Suslova E.G.* **2019.** Spatial Organization of the Vegetation and Landscapes of the Sub-Mediterranean Forest and Woodland Belt on the Abrau Peninsula (Northwestern Caucasus) // *Arid Ecosystems*. Vol. 9. No. 4. P. 237-247.
20. *Chernenkova T.V., Kotlov I.P., Belyaeva N.G., Morozova O.V., Suslova E.G., Puzachenko M.Yu, Krenke A.N.* **2019.** Sustainable Forest Management Tools for the Moscow Region // *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 12. No. 4. P. 35-56.
21. *Толышева Т.Ю., Сулова Е.Г.* **2019.** Лишайники рода *Usnea* на особо охраняемых лесных природных территориях Московской области // Лесоведение. № 1. С. 57-63.
22. *Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г.* **2019.** Охрана степных растений близ северной границы ареала в Подмосковье // Вопросы области]. *Anthropogenic Transformation of the Natural Environment [Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy]*. 2020;6:31-35.
19. *Bocharnikov MV, Petrushina MN, Suslova EG.* Spatial Organization of the Vegetation and Landscapes of the Sub-Mediterranean Forest and Woodland Belt on the Abrau Peninsula (Northwestern Caucasus). *Arid Ecosystems*. 2019;9 (4):237-247.
20. *Chernenkova TV, Kotlov IP, Belyaeva NG, Morozova OV, Suslova EG, Puzachenko MYu, Krenke AN.* Sustainable Forest Management Tools for the Moscow Region. *Geography, Environment, Sustainability*. 2019;12 (4):35-56.
21. *Tolpysheva TYu, Suslova EG.* Lichens of the genus *Usnea* in specially protected forest natural areas of the Moscow region [Lishayniki roda *Usnea* na osobo okhranyayemykh lesnykh prirodnnykh territoriyakh Moskovskoy oblasti]. *Forest Science [Lesovedenie]*. 2019;1:57-63.
22. *Kadetov NG, Suslova EG.* Protection of steppe plants near the northern border of the range in the Moscow region [Okhrana stepnykh rasteniy bliz severnoy granitsy areala v Podmoskov'ye]. *Issues of Steppe Science [Voprosy stepevedeniya]*. 2019;XV:126-129.
23. *Bocharnikov MV, Petrushina MN, Suslova EG.* Spatial organization of vegetation and landscapes of the belt of sub-Mediterranean forests and light forests of the Abrau Peninsula (North-Western Caucasus) [Prostranstvennaya organizatsiya rastitel'nosti i landshaftov poyasa subsredizemnomorskikh lesov i redkolesiy poluoostrova Abrau (Severo-zapadnyy Kavkaz)]. *Arid Ecosystems*. 2019;25 (4):30-41.
24. *Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YS, Suslova EG.* Comparative Assessment of the Gene Pool and the Viability of Forest Plantations from Moscow and Natural Populations from the Moscow Region by Example of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Russian Journal of Genetics*. 2018;54 (9):1040-1049.
25. *Sofronova EV, Andreeva EN, Antipin VK, Belkina OA, Borovichev EA, Boychuk MA, Danilevsky YuV, Doroshina GYa, Efremov AN, Fedosov VE, Galanina OV, Ignatov MS, Ignatova EA, Kapitonova OA, Konechnaya GYu, Konstantinova NA, Kotkova VM, Kozhin MN,*

- степеведения. № XV. С. 126-129.
23. Бочарников М.В., Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2019. Пространственная организация растительности и ландшафтов пояса субсредиземноморских лесов и редколесий полуострова Абрау (Северо-западный Кавказ) // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4 (81). С. 30-41.
 24. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Y.S., Suslova E.G. 2018. Comparative Assessment of the Gene Pool and the Viability of Forest Plantations from Moscow and Natural Populations from the Moscow Region by Example of Norway Spruce (*Piceaabies* (L.) Karst.) // Russian Journal of Genetics. Vol. 54. No. 9. P. 1040-1049.
 25. Sofronova E.V., Andreeva E.N., Antipin V.K., Belkina O.A., Borovichev E.A., Boychuk M.A., Danilevsky Yu.V., Doroshina G.Ya., Efremov A.N., Fedosov V.E., Galanina O.V., Ignatov M.S., Ignatova E.A., Kapitonova O.A., Konechnaya G.Yu., Konstantinova N.A., Kotkova V.M., Kozhin M.N., Kukurichkin G.M., Kuzmina E.Yu., Lamkowski P., Lapshina E.D., Neshataeva V.Yu., Pechenyuk E.V., Philippov D.A., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Potemkin A.D., Savchenko A.N., Sergeeva Yu.M., Smagin V.A., Starodubtseva E.A., Suslova E.G., Sviridenko B.F., Tubanova D.Ya., Tyurin V.N., Voronkova T.V. (editors). 2018. New Bryophyte Records // *Arctoa*. Vol. 27. No. 2. P. 208-225.
 26. Толышева Т.Ю., Сулова Е.Г., Румянцев В.Ю. 2018. Виды рода *Ramalina* и их охрана на территории Московской области // Социально-экологические
 - Kukurichkin GM, Kuzmina EYu, Lamkowski P, Lapshina ED, Neshataeva VYu, Pechenyuk EV, Philippov DA, Pisarenko OYu, Popova NN, Potemkin AD, Savchenko AN, Sergeeva YuM, Smagin VA, Starodubtseva EA, Suslova EG, Sviridenko BF, Tubanova DYa, Tyurin VN, Voronkova TV (eds.). *New Bryophyte Records. Arctoa*. 2018;27 (2):208-225.
 26. Tolpysheva TYu, Suslova EG, Rumyantsev VYu. Species of the genus *Ramalina* and their protection in the Moscow region [Vidy roda *Ramalina* i ikh okhrana na territorii Moskovskoy oblasti]. *Socio-Ecological Technologies [Sotsial'no-ekologicheskiye tekhnologii]*. 2018;1:23-37.
 27. Suslova EG. Forests of the Moscow region [Lesa Moskovskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2018;3 (1):119-190.
 28. Miklyaeva IM, Kadetov NG, Suslova EG, Vakhnina OV. Long-term dynamics of the vegetation cover of the Satinskaya educational and scientific station test site [Mnogoletnyaya dinamika rastitel'nogo pokrova poligona Satinskoy uchebno-nauchnoy stantsii]. *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2018;5:89-95.
 29. Suslova EG, Alekseenko NA, Shapovalov AS. Methodology for creating a geobotanical map of the steppe site based on field surveys using geoinformation technologies (on the example of the Yamskaya Steppe of the Belogorye Nature Reserve) [Metodika sozdaniya geobotanicheskoy karty stepnogo uchastka po polevym obsledovaniyam s primeneniym geoinformatsionnykh tekhnologiy (na pimere "Yamskoy stepi" zapovednika "Belogor'ye")]. *Scientific Bulletin of the Belgorod State University [Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta] Series "Natural Sciences" [Seriya Yestestvennyye nauki]*. 2018;42 (1):12-24.
 30. Tolpysheva TYu, Suslova EG, Rumyantsev VYu. Distribution of species of the genus *Bryoria* in the territory of the Moscow region [Rasprostraneniye vidov roda *Bryoria* na territorii Moskovskoy oblasti]. *Socio-Ecological Technologies [Sotsial'no-ekologicheskiye tekhnologii]*. 2018;2:22-33.

- технологии. № 1. С. 23-37.
27. **Суслова Е.Г.** 2018. Леса Московской области // Экосистемы: экология и динамика. Т. 3. № 1. С. 119-190.
 28. **Микляева И.М., Кадетов Н.Г., Суслова Е.Г., Вахнина О.В.** 2018. Многолетняя динамика растительного покрова полигона Сатинской учебно-научной станции // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 5. С. 89-95.
 29. **Суслова Е.Г., Алексеенко Н.А., Шаповалов А.С.** 2018. Методика создания геоботанической карты степного участка по полевым обследованиям с применением геоинформационных технологий (на примере «Ямской степи» заповедника «Белогорье») // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. Т. 42. № 1. С. 12-24.
 30. **Толпышева Т.Ю., Суслова Е.Г., Румянцев В.Ю.** 2018. Распространение видов рода *Bryoria* на территории Московской области // Социально-экологические технологии. № 2. С. 22-33.
 31. **Макеева В.М., Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконов М.М., Белоконов Ю.С., Суслова Е.Г.** 2018. Сравнительная оценка состояния генофонда и жизнеспособности лесопосадок из парков города Москвы и естественных популяций из Подмоскovie на примере ели европейской (*Piceaabies* (L.) Karst.) // Генетика. Т. 54. № 9. С. 1015-1025.
 32. **Аристархова Е.А., Суслова Е.Г., Тихонова Е.В.** 2018. Ценотическое разнообразие и вопросы охраны растительного покрова ландшафтов Талдомского района Московской области // 31. **Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG.** Comparative assessment of the state of the gene pool and the viability of forest plantations from the parks of the city of Moscow and natural populations from the Moscow region using the example of European spruce (*Piceaabies* (L.) Karst.) [Srvavnitel'naya otsenka sostoyaniya genofonda i zhiznesposobnosti lesoposadok iz parkov goroda Moskvy i yestestvennykh populyatsiy iz Podmoskov'ya na primere yeli yevropeyskoy (*Piceaabies* (L.) Karst.)]. *Genetics*. 2018;54 (9):1015-1025.
 32. **Aristarkhova EA, Suslova EG, Tikhonova EV.** Coenotic diversity and issues of protection of the vegetation cover of landscapes in the Taldom district of the Moscow region [Tsenoticheskoye raznoobraziye i voprosy okhrany rastitel'nogo pokrova landshaftov Taldomskogo rayona Moskovskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2018;2 (1):112-138.
 33. **Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YS, Suslova EG, Rusanov AV.** Gene Pool State and Degree of Infestation by Bark Beetle (*Ips typographus* L.) of Norway Spruce (*Piceaabies* L. Karst.) Natural Populations and Planted Stands in Moscow Region. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53 (4):445-454.
 34. **Tolpysheva TYu, Suslova EG, Rummyantsev VYu.** Species of the genus *Bryoria* in specially protected natural areas of the Moscow region [Vidy roda *Bryoria* osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy Moskovskoy oblasti]. *Proc. of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN]*. 2017;4:72-80.
 35. **Suslova EG, Tolpysheva TYu, Rusanov AV, Rummyantsev VYu.** Modern distribution of some rare and protected lichens in the Moscow region [Sovremennoye rasprostraneniye nekotorykh redkikh i okhranyayemykh lishaynikov v Moskovskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2017;1 (1):93-118.
 36. **Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Rusanov AV.** The state of the gene pool and the degree of infestation by the bark beetle (*Ipstipographus* L.) of natural populations and

- Экосистемы: экология и динамика. Т. 2. № 1. С. 112-138.
33. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Y.S., Suslova E.G., Rusanov A.V. **2017**. Gene Pool State and Degree of Infestation by Bark Beetle (*Ips typographus* L.) of Norway Spruce (*Piceaabies* L. Karst.) Natural Populations and Planted Stands in Moscow Region // Russian Journal of Genetics. Vol. 53. No. 4. P. 445-454.
34. Толпышева Т.Ю., Сулова Е.Г., Румянцев В.Ю. **2017**. Виды рода *Bryoria* особо охраняемых природных территорий Московской области // Труды Карельского научного центра РАН. № 4. С. 72-80.
35. Сулова Е.Г., Толпышева Т.Ю., Русанов А.В., Румянцев В.Ю. **2017**. Современное распространение некоторых редких и охраняемых лишайников в Московской области // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 93-118.
36. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Y.S., Suslova E.G., Rusanov A.V. **2017**. Состояние генофонда и степень пораженности короедом-типографом (*Ipstipographus* L.) естественных популяций и лесопосадок ели европейской (*Piceaabies* (L.) Karst.) в Подмосковье // Генетика. Т. 53. № 3. С. 1-10.
37. Толпышева Т.Ю., Сулова Е.Г., Румянцев В.Ю. **2016**. Виды рода *Bryoria* особо охраняемых природных территорий Московской области // Труды Карельского научного центра РАН. № Декабрь. С. 1-9.
38. Огуреева Г.Н., Бочарников М.В., Емельянова Л.Г., Кадетов Н.Г., Леонова Н.Б., Леонтьева О.А., forest plantations of European spruce (*Piceaabies* (L.) Karst.) in the Moscow region [Sostoyaniye genofonda i stepen' porazhennosti koroyedom-tipografom (*Ipstipographus* L.) yestestvennykh populyatsiy i lesoposadok yeli yevropeyskoy (*Piceaabies* (L.) Karst.) v Podmoskov'ye]. *Genetics*. 2017;53 (3):1-10.
37. Tolpysheva TYu, Suslova EG, Rumyantsev VYu. Species of the genus *Bryoria* in specially protected natural areas of the Moscow region [Vidy roda *Bryoria* osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy Moskovskoy oblasti]. *Proc. of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* [Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN]. 2016;December:1-9.
38. Ogureeva GN, Bocharnikov MV, Emelyanova LG, Kadetov NG, Leonova NB, Leontieva OA, Miklyaeva IM, Rumyantsev VYu, Soldatov M S, Suslova EG. Biodiversity mapping [Kartografirovaniye bioraznoobraziya]. *Herald of the Moscow University* [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]. 2016;5:40-46.
39. Alekseenko NA, Suslova EG, Shapovalov AS, Mikhailova TV. Study of the vegetation cover of the Yamskaya steppe using the cartographic method [Izucheniye rastitel'nogo pokrova "Yamskoy stepi" s pomoshch'yu kartograficheskogo metoda] *Proc. of the All-Russian (with international participation) scientific school-conference dedicated to the 115th anniversary of the birth of A.A. Uranov* [Materialy vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchnoy shkoly-konferentsii, posvyashchennoy 115-letiyu so dnya rozhdeniya A.A. Uranova] *Modern concepts of the ecology of biosystems and their role in solving the problems of nature conservation and nature management* [Sovremennyye kontseptsii ekologii biosistem i ikh rol' v reshenii problem sokhraneniya prirody i prirodopol'zovaniya]. Penza: Izdatel'stvo PGU, 2016:337-340.
40. Suslova EG, Alekseenko NA, Mikhailova TV, Shapovalov AS. Mapping the species diversity of the "Yamskaya Steppe" site [Kartografirovaniye vidovogo raznoobraziya uchastka "Yamskaya step'"] *Proc. of the 9th International youth conference school "Meridian" "Methods and means of studying nature and society"* [Materialy

- Микляева И.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С., Сулова Е.Г. **2016.** Картографирование биоразнообразия // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 5. С. 40-46.
39. Алексеенко Н.А., Сулова Е.Г., Шаповалов А.С., Михайлова Т.В. **2016.** Изучение растительного покрова «Ямской степи» с помощью картографического метода // Сб. Материалы всероссийской (с международным участием) научной школы-конференции, посвященной 115-летию со дня рождения А.А. Уранова: Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования. Пенза: Издательство ПГУ. С. 337-340.
40. Сулова Е.Г., Алексеенко Н.А., Михайлова Т.В., Шаповалов А.С. **2016.** Картографирование видового разнообразия участка «Ямская степь» // Сб. Материалы 9-ой международной молодежной школы-конференции «Меридиан»: Методы и средства исследования природы и общества / Ред. М.Е. Кладовщикова. М.: Институт географии РАН. С. 140-143.
41. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Yu.S., Suslova E.G., Rusanov A.V. **2016.** Сравнительная оценка состояния генофонда и жизнеспособности лесопосадок и естественных популяций ели европейской (*Piceaabies* (L.) Karst.) в Москве и Подмоскowie // Сб. Материалы II Всероссийской научной конференции (с международным участием): Научные основы устойчивого управления лесами. М.: ЦЭПЛ РАН. С. 47-48.
42. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Yu.S., Suslova E.G., Leontieva O.A., Kalinin A.A., Titova S.V. Practical and theoretical results of a new scientific direction called genourbanology [Prakticheskiye i teoreticheskiye rezul'taty novogo nauchnogo napravleniya – genourbanologii] *Earth life. Earth Sciences, Ecology, History of Science, Museology* [Zhizn' Zemli. Nauki o Zemle, ekologiya, istoriya nauki, muzeologiya] Series "Life of the Earth" [Seriya Zhizn' Zemli]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2015;37:84-97.
43. Suslova E.G., Kozhin M.N., Seregin A.P. List of vascular plants of the Abrau Peninsula (from the village of Sukko to Yuzhnaya Ozereevka) [Spisok sosudistykh rasteniy poluostrova Abrau (ot pos. Sukko do Yuzhnoy Ozereyevki)] *Summer practice in biogeography in the Western Caucasus: a textbook* [Letnyaya praktika po biogeografii na Zapadnom Kavkaze: uchebnoye posobiye] / eds. O.A. Leontieva, E.G. Suslova, M.N. Kozhin, K.B. Gongalsky, N.G. Kadetov, A.A. Kadetova, E.P. Retz, A.P. Seregin, M.N. Petrushina, V.S. Rudovsky, L.A. Hlyap. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2015:112-209.
44. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V.,
- 9-oy mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly-konferentsii "Meridian": Metody i sredstva issledovaniya prirody i obshchestva] / ed. M.E. Kladovshchikov. Moscow: Institut geografii RAN, 2016:140-143.

- Политов Д.В., Белоконов М.М., Белоконов Ю.С., Сулова Е.Г., Леонтьева О.А., Калинин А.А., Титова С.В. 2015. Практические и теоретические результаты нового научного направления – геноурбанонологии // Сб. Жизнь Земли. Науки о Земле, экология, история науки, музеология. Серия Жизнь Земли. М.: Издательство Московского университета. Т. 37. С. 84-97.
43. Сулова Е.Г., Кожин М.Н., Серегин А.П. 2015. Список сосудистых растений полуострова Абрау (от пос. Сукко до Южной Озереевки) // Сб. Летняя практика по биогеографии на Западном Кавказе: учебное пособие / Ред. О.А. Леонтьева, Е.Г. Сулова, М.Н. Кожин, К.Б. Гонгальский, Н.Г. Кадетов, А.А. Кадетова, Е.П. Рец, А.П. Серегин, М.Н. Петрушина, В.С. Рудовский, Л.А. Хляп. М.: Географический факультет МГУ. С. 112-209.
44. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Y.S., Suslova E.G., Kalinin A.A. 2015. Technology for Restoring and Maintaining Sustainability of Populations: Practical and Theoretical Results of Genourbanology // The Open Conference Proceedings Journal. Vol. 6. P. 1-9.
45. Демина О.Н., Рогаль Л.Л., Сулова Е.Г., Дмитриев П.А., Кожин М.Н., Серегин А.П., Быхалова О.Н. 2015. Конспект флоры Государственного природного заповедника «Утриш» // Живые и биокосные системы. № 13. С. article-8.
46. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Белоконов М.М., Белоконов Ю.С., Сулова Е.Г., Калинин А.А. 2014. Поддержание жизнеспособности популяций Belokon MM, Belokon YS, Suslova EG, Kalinin AA. Technology for Restoring and Maintaining Sustainability of Populations: Practical and Theoretical Results of Genourbanology. *The Open Conference Proceedings Journal*. 2015;6:1-9.
45. Demina ON, Rogal LL, Suslova EG, Dmitriev PA, Kozhin MN, Seregin AP, Bykhalova ON. Synopsis of the flora of the Utrish State Nature Reserve [Konspekt flory Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Utrish”]. *Living and Biokosnye Systems [Zhivyye i biokosnyye sistemy]*. 2015;13: article-8.
46. Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Kalinin AA. Maintaining the viability of animal and plant populations in urban ecosystems (ecological-genetic approach) [*Podderzhaniye zhiznesposobnosti populyatsiy zhivotnykh i rastitel’nykh organizmov v gorodskikh ekosistemakh (ekologo-geneticheskiy podkhod)*] *Proc. of the International Conference “InterCarto. InterGIS” [Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii “InterKarto. InterGIS”]*. Moscow: Nauka, 2014;20:525-530.
47. Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Radchenko IV, Kalinin AA. Ecological and genetic foundations for the sustainable conservation of forest resources of anthropogenic ecosystems [*Ekologo-geneticheskiye osnovy ustoychivogo sokhraneniya lesnykh resursov antropogennykh ekosistem*] *Proc. of the All-Russian Scientific Conference “Scientific foundations of sustainable forest management”, Moscow, October 21-23, 2014 [Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii “Nauchnyye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami”]*. Moscow: TSEPL RAN, 2014:116-118.
48. Ogureeva G, Suslova E, Leontyeva O, Petrushina M. Justification for Creation of the “Utrish” Reserve. *Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges. Proc. of EMECS 10 MEDCOAST 2013, Joint Conference, Marmaris, Turkey, 30 October – 03 November. Marmaris, Turkey, 2013;2:309-319.*
49. Ogureeva GN, Suslova EG, Leontieva OA. Botanical and geographical aspects of the ecological justification for the creation of the

- животных и растительных организмов в городских экосистемах (эколого-генетический подход) // Сб. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М.: Наука. Т. 20. С. 525-530.
47. *Макеева В.М., Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., Сулова Е.Г., Радченко И.В., Калинин А.А.* 2014. Эколого-генетические основы устойчивого сохранения лесных ресурсов антропогенных экосистем // Сб. Материалы Всероссийской научной конференции: Научные основы устойчивого управления лесами, г. Москва, 21-23 октября 2014 г. М.: ЦЭПЛ РАН. С. 116-118.
48. *Ogureeva G., Suslova E., Leontyeva O., Petrushina M.* 2013. Justification for Creation of the "Utrish" Reserve // Сб. Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges. Proceedings of EMECS 10 MEDCOAST 2013, Joint Conference, Marmaris, Turkey, 30 October – 03 November. Marmaris, Turkey. Vol. 2. P. 309-319.
49. *Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Леонтьева О.А.* 2013. Ботанико-географические аспекты экологического обоснования создания заповедника «Утриш» // Сб. Биоразнообразие Государственного природного заповедника «Утриш» / Гл. ред. А.Г. Крохмаль. Науч. ред. Г.Н. Огуреева. Серия Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 59-66.
50. *Сулова Е.Г.* 2013. Особенности флоры полуострова Абрау и заповедника «Утриш» // Сб. Биоразнообразие государственного природного заповедника «Утриш». Серия Научные труды. Анапа. Т. 1. С. 129-135.
- Utrish reserve [*Botaniko-geograficheskiye aspekty ekologicheskogo obosnovaniya sozdaniya zapovednika "Utrish"*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]* / eds. A.G. Krokhmal, G.N. Ogureeva. Anapa, 2013;1:59-66.
50. *Suslova EG.* Features of the flora of the Abrau Peninsula and the Utrish reserve [*Osobennosti flory poluostrova Abrau i zapovednika "Utrish"*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]*. Anapa, 2013;1:129-135.
51. *Leontieva OA, Suslova EG, Ogureeva GN, Gongalsky KB.* Abrau Peninsula [*Poluostrov Abrau*] *Emerald Data Book of the Russian Federation [Izumrudnaya kniga Rossiyskoy Federatsii] Territories of Special Conservation Importance in European Russia [Territorii osobogo prirodokhrannogo znacheniya Yevropeyskoy Rossii] Suggestions for discovery [Predlozheniya po vyyavleniyu]*. Moscow, 2013;1 (1):214-217.
52. *Suslova EG, Rets EP.* Vegetation of the Abrau Peninsula and its display on a large-scale geobotanical map [*Rastitel'nost' poluostrova Abrau i yeye otobrazheniye na krupnomasshtabnoy geobotanicheskoy karte*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]* / eds. A.G. Krokhmal, G.N. Ogureeva. Anapa, 2013;1:67-76.
53. *Suslova EG.* Rare and vulnerable plant species [*Redkiye i uyazvimyye vidy rasteniy*] *Atlas of the Utrish State Nature Reserve [Atlas Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]*. Anapa, 2013;2:58.
54. *Petrushina MN, Suslova EG.* Indication of mudflow activity in the landscapes of the North Caucasus [*Indikatsiya selevoy aktivnosti v landshaftakh Severnogo Kavkaza*] *Proc. of the Second All-Russian Scientific and Technical Conference "Modern problems of geology,*

51. Леонтьева О.А., Сулова Е.Г., Огуреева Г.Н., Гонгальский К.Б. 2013. Полуостров Абрау // Сб. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. М. Т. 1. Ч. 1. С. 214-217.
52. Сулова Е.Г., Рец Е.П. 2013. Растительность полуострова Абрау и ее отображение на крупномасштабной геоботанической карте // Сб. Биоразнообразие Государственного природного заповедника «Утриш» / Гл. ред. А.Г. Крохмаль. Науч. ред. Г.Н. Огуреева. Серия Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 67-76.
53. Сулова Е.Г. 2013. Редкие и уязвимые виды растений // Сб. Атлас Государственного природного заповедника «Утриш». Серия Научные труды. Анапа. Т. 2. С. 58.
54. Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2012. Индикация селевой активности в ландшафтах Северного Кавказа // Сб. Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа, 7-10 ноября 2012 г. Грозный. С. 634-640.
55. Сулова Е.Г., Завьялова Е.А. 2012. Состояние охраны редких видов растений в Московской области // Сб. Актуальная биогеография. Раздел III: Вопросы охраны биоразнообразия. Вопросы географии. М.: Кодекс. Т. 143. С. 192-200.
56. Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2011. Использование ландшафтной индикации при изучении активности селей на Северном *geophysics and geocology of the North Caucasus*”, November 7-10, 2012, Grozny [Materialy Vtoroy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza”]. 2012:634-640.
55. Suslova EG, Zavyalova EA. The state of protection of rare plant species in the Moscow region [Sostoyaniye okhrany redkikh vidov rasteniy v Moskovskoy oblasti] *Current biogeography [Aktual'naya biogeografiya] Section III: Issues of biodiversity protection. Issues of geography [Voprosy okhrany bioraznoobraziya. Voprosy geografii]*. Moscow: Kodeks, 2012;143:192-200.
56. Petrushina MN, Suslova EG. The use of landscape indication in the study of mudflow activity in the North Caucasus [Ispol'zovaniye landshaftnoy indikatsii pri izuchenii aktivnosti seley na Severnom Kavkaze] *Geography: problems of science and education [Geografiya: problemy nauki i obrazovaniya]*. Saint-Petersburg, 2011:56-59.
57. Ogureeva GN, Suslova EG, Leontieva OA. Creation of the Utrish Reserve: Botanical and Geographical Aspects of Ecological Substantiation [Sozdaniye zapovednika Utrish: botaniko-geograficheskiye aspekty ekologicheskogo obosnovaniya] *Proc. of the International Scientific Conference “Geographical Basis for the Formation of Ecological Networks in Northern Eurasia” [Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya “Geograficheskiye osnovy formirovaniya ekologicheskikh setey v Severnoy Yevrazii”]*. 2011.
58. Suslova EG, Zavyalova EA. Protection of rare plant species in the Moscow region [Okhrana redkikh vidov rasteniy v Podmoskov'ye] *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2011.
59. Petrushina MN, Suslova EG. Phytoindicative studies of mudflow activity in the specially protected natural areas of the North Caucasus [Indikatsionnyye issledovaniya selevoy aktivnosti v OOPT Severnogo Kavkaza] *Proc. of the VII International Scientific Conference “Sustainable Development of Mountain Territories in the Conditions of Global*

- Кавказе // Сб. География: проблемы науки и образования. СПб. С. 56-59.
57. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Леонтьева О.А. 2011. Создание заповедника Утриш: ботанико-географические аспекты экологического обоснования // Сб. Международная научная конференция «Географические основы формирования экологических сетей в Северной Евразии».
58. Сулова Е.Г., Завьялова Е.А. 2011. Охрана редких видов растений в Подмосковье // Вестник Московского университета. Серия 5: География.
59. Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2010. Фитоиндикационные исследования селевой активности в ООПТ Северного Кавказа // Сб. Материалы VII Международной научной конференции: Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений. Терек, Владикавказ.
60. Leontyeva O.A., Suslova E.G., Pereshkolnik S.L., Petrushina M.N. 2009. To Create Utrish Reserve at the Abrau Peninsula // Сб. Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST 09. Vol. 1. P. 249-260.
61. Сулова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008. Горцвет весенний – *Adonis vernalis* L. // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 582-582.
62. Рец Е.П., Сулова Е.Г. 2008. Классификация и крупномасштабное картографирование горной растительности Северо-Западного Кавказа (п-ов Абрау) // Сб. Биogeография в Московском университете. *Changes*” [Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii “Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy v usloviyakh global’nykh izmeneniy”]. Terek, Vladikavkaz, 2010.
60. Leontyeva OA, Suslova EG, Pereshkolnik SL, Petrushina MN. To Create Utrish Reserve at the Abrau Peninsula. Proc. of the 9th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST 09. 2009;1:249-260.
61. Suslova EG, Kulikova GG. Adonis vernalis L. [Goritsvet vesenniy – Adonis vernalis L.] Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:582-582.
62. Retz EP, Suslova EG. Classification and large-scale mapping of mountain vegetation in the Northwestern Caucasus (Abrau Peninsula) [Klassifikatsiya i krupnomasshtabnoye kartografirovaniye gornoy rastitel’nosti Severo-Zapadnogo Kavkaza (p-ov Abrau)] Biogeography at Moscow University [Biogeografiya v Moskovskom universitete] 60 years of the Biogeography Department [60 let kafedre biogeografii]. Moscow: GEOS, 2008:151-163.
63. Suslova EG, Kulikova GG. Nepeta pannonica L. [N. nuda L.] [Kotovnik vengerskiy ili golyy – Nepeta pannonica L. [N. nuda L.]] Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:647-647.
64. Leontieva OA, Suslova EG, Pereshkolnik SL. On the need to create the Utrish Nature Reserve [O neobkhodimosti sozdaniya Utrishskogo zapovednika] Proc. of the International Scientific and Practical Conference “Prospects for the development of specially protected natural areas and tourism in the North Caucasus” [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Perspektivy razvitiya osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy i turizma na Severnom Kavkaze”] / ed. V.V. Kovalev. Maykop: Kachestvo Maykop, 2008:116-122.
65. Alekseev YuE, Varlygina TI, Vakhrameeva MG, Vilyaeva NA, Kiseleva KV, Kulikova GG, Levitskaya GE, Novikov VS, Oktyabreva NB, Suslova EG, Tikhomirov VN, Kharitonov NP,

- 60 лет кафедре биогеографии. М.: ГЕОС. С. 151-163.
63. **Сулова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Котовник венгерский или голый – *Nepeta rannonica* L. [*N. nuda* L.] // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 647-647.
64. **Леонтьева О.А., Сулова Е.Г., Перешкольник С.Л. 2008.** О необходимости создания Утришского заповедника // Сб. Материалы Международной научно-практической конференции: Перспективы развития особо охраняемых природных территорий и туризма на Северном Кавказе / Ред. В.В. Ковалев. Майкоп: Качество Майкоп. С. 116-122.
65. **Алексеев Ю.Е., Варлыгина Т.И., Вахрамеева М.Г., Виляева Н.А., Киселева К.В., Куликова Г.Г., Левицкая Г.Е., Новиков В.С., Октябрева Н.Б., Сулова Е.Г., Тихомиров В.Н., Харитонов Н.П., Швецов А.Н., Щербаков А.В., Яницкая Т.О. 2008.** Сосудистые растения // Сб. Красная книга Московской области / Ред. Н.Б. Никитский. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 481-694.
66. **Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2008.** Фитоиндикация динамики селевых конусов на Центральном Кавказе // Сб. Ландшафтная экология. М.: РИЦ МГГУ. Т. 7. С. 56-62.
67. **Сулова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Шлемник высокий – *Scutellaria altissima* L. // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 652.
68. **Сулова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Шлемник копьелистный – *Scutellaria hastifolia* L. //
- Shvetsov AN, Shcherbakov AV, Yanitskaya TO. Vascular plants [*Sosudistyye rasteniya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (2nd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:481-694.
66. Petrushina MN, Suslova EG. Phytoindication of the dynamics of mudflow cones in the Central Caucasus [Fitoindikatsiya dinamiki selevykh konusov na Tsentral'nom Kavkaze] *Landscape Ecology* [*Landshaftnaya ekologiya*]. Moscow: RITS MGGU, 2008;7:56-62.
67. Suslova EG, Kulikova GG. *Scutellaria altissima* L. [*Shlemnik vysokiy – Scutellaria altissima* L.] *Red Data Book of the Moscow Region* (2nd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:652.
68. Suslova EG, Kulikova GG. *Scutellaria hastifolia* L. [*Shlemnik kop'yelistnyy – Scutellaria hastifolia* L.] *Red Data Book of the Moscow Region* (2nd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / ed. N.B. Nikitsky. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:653-653.
69. Suslova EG, Petrushina MN. Mapping of the vegetation cover of the Abrau peninsula in the vicinity of the Maly Utrish village [*Kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova poluostrova Abrau v okrestnostyakh pos. Maly Utrish*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus: a collection of scientific papers* [*Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza: sbornik nauchnykh trudov*] / eds. K.B. Gongalsky, O.A. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow, 2007:5-15.
70. Pakhomova ES, Aleksandrova PA, Ermokhina KA, Suslova EG. Spatial structure of pistachio-juniper sparse forests on the coastal slopes of the Abrau Peninsula [*Prostranstvennaya struktura fistashkovo-mozhzevelovykh redkolesiy na primorskikh sklonakh poluostrova Abrau*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus* [*Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza*]. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2007:36-45.
71. Miklyaeva IM, Ogureeva GN, Suslova EG.

- Сб. Красная книга Московской области / Ред. Н.Б. Никитский. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 653-653.
69. **Суслова Е.Г., Петрушина М.Н. 2007.** Картографирование растительного покрова полуострова Абрау в окрестностях пос. Малый Утриш // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа: сборник научных трудов / Ред. К.Б. Гонгальский, О.А. Леонтьева, **Е.Г. Суслова**. М. С. 5-15.
70. **Пахомова Е.С., Александрова П.А., Ермохина К.А., Суслова Е.Г. 2007.** Пространственная структура фиесташково-можжевельных редколесий на приморских склонах полуострова Абрау // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа. М.: Географический факультет МГУ. С. 36-45.
71. **Микляева И.М., Огуреева Г.Н., Суслова Е.Г. 2007.** Растительный покров Сатинского полигона: учебно-методическое пособие // Сб. Общегеографическая практика в Подмосковь / Ред. Г.И. Рычагов. М.: Географический факультет МГУ. С. 177-221.
72. **Серегин А.П., Суслова Е.Г. 2007.** Флора сосудистых растений окрестностей пос. Малый Утриш // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа / Ред. К.Б. Гонгальский, О.А. Леонтьева, **Е.Г. Суслова**. М. С. 104-174.
73. **Seregin A.P., Suslova E.G. 2007.** Contribution to the Vascular Plant Flora of the Utrish Area, a Relic Sub-Mediterranean Ecosystem of the Russian Black Sea Coast // *Willdenowia*. Vol. 37. No. 2. P. 451-463.
74. **Лурье И.К., Микляева И.М.,** Vegetation cover of the Satinsky polygon: teaching aid [*Rastitel'nyy pokrov Satinskogo poligona: uchebno-metodicheskoye posobiye*] *General geographic practice in the Moscow region [Obshchegeograficheskaya praktika v Podmoskov']* / ed. G.I. Levers. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2007:177-221.
72. **Seregin AP, Suslova EG.** Flora of vascular plants in the vicinity of the Maly Utrish village [*Flora sosudistykh rasteniy okrestnostey pos. Malyy Utrish*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus [Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza]* / eds. K.B. Gongalsky, O.A. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow, 2007:104-174.
73. **Seregin AP, Suslova EG.** Contribution to the Vascular Plant Flora of the Utrish Area, a Relic Sub-Mediterranean Ecosystem of the Russian Black Sea Coast. *Willdenowia*. 2007;37 (2):451-463.
74. **Lurie IK, Miklyaeva IM, Mikhailov DI, Ogureeva GN, Suslova EG.** The use of GIS technologies for the study and mapping of vegetation in the Moscow region [*Ispol'zovaniye GIS-tekhnologiy dlya issledovaniya i kartografirovaniya rastitel'nosti Moskovskogo regiona*] *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2006;4:40-45.
75. **Lurie IK, Miklyaeva IM, Mikhailov DI, Ogureeva GN, Suslova EG.** Vegetation mapping using GIS technologies [*Kartografirovaniye rastitel'nosti s ispol'zovaniyem GIS-tekhnologiy*] *Ecosystems of broad-leaved-coniferous forests of the Southern Moscow Region [Ekosistemy shirokolistvenno-khvoynykh lesov Yuzhnogo Podmoskov'ya]*. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2006:136-144.
76. **Suslova EG.** Cartographic research in the Central Chernozem Reserve [*Kartograficheskiye issledovaniya v Tsentral'no-Chernozemnom zapovednike*] *Proc. of the Central Chernozem Reserve [Trudy Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika]*. 2006;19:65-70.
77. **Suslova EG, Ogureeva GN, Arkhipova MV.** Biotic diversity, regional structure and protection of coniferous-deciduous forests in Russia [*Bioticheskoye raznoobraziye,*

- Михайлов Д.И., Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 2006. Использование ГИС-технологий для исследования и картографирования растительности Московского региона // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 4. С. 40-45.
75. Лурье И.К., Микляева И.М., Михайлов Д.И., Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 2006. Картографирование растительности с использованием ГИС-технологий // Сб. Экосистемы широколиственно-хвойных лесов Южного Подмосковья. М.: Географический факультет МГУ. С. 136-144.
76. Сулова Е.Г. 2006. Картографические исследования в Центрально-Черноземном заповеднике // Труды Центрально-Черноземного заповедника. Вып. 19. С. 65-70 + цветн. вкладки.
77. Сулова Е.Г., Огуреева Г.Н., Архипова М.В. 2004. Биотическое разнообразие, региональная структура и охрана хвойно-широколиственных лесов России // Сб. География, общество, окружающая среда. Т. III: Природные ресурсы, их использование и охрана / Ред. С.А. Добролюбов, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. М.: Городец. С. 461-474.
78. Сулова Е.Г., Микляева И.М., Огуреева Г.Н. 2004. Растительные ресурсы // Сб. Атлас «Московская область. История. Культура. Экономика». М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картографирование». С. 396-397.
79. Сулова Е.Г., Микляева И.М., Огуреева Г.Н. 2004. Растительный мир // Сб. Атлас «Московская область. История. Культура. Экономика». М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картографирование». С. 461-474.
80. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Архипова М.В. Regional structure, coenotic diversity of the biome of Eastern European broad-leaved forests in Russia [*Regional'naya struktura, tsenoticheskoye raznoobraziye bioma vostochnoyevropeyskikh shirokolistvennykh lesov Rossii*] *Geography, society, environment [Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda]* Vol. III: *Natural resources, their use and protection [T. III: Prirodnyye resursy, ikh ispol'zovaniye i okhrana]* / eds. S.A. Dobrolyubov, N.S. Kasimov, S.M. Malkhazov. Moscow: Gorodets, 2004:475-487.
81. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Микляева И.М., Румянцев В.Ю. Vegetation of the Satin's training ground [*Rastitel'nost' Satinskogo uchebnogo poligona*] *Flora and fauna of the Satin's training ground [Rastitel'nost' i zhivotnyy mir Satinskogo uchebnogo poligona]*. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2003:3-38.
82. Seregin AP, Suslova EG. Addition to the list of plants collected in the herbarium on the Abrau Peninsula [*Dopolneniye k spisku rasteniy, sobrannykh v gerbariy na poluostrove Abrau*] *Biodiversity of the Abrau Peninsula [Bioraznoobraziye poluostrova Abrau]*.

- Информация. Картографирование». С. 46-49.
80. *Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Архипова М.В.* 2004. Региональная структура, ценоотическое разнообразие биома восточноевропейских широколиственных лесов России // Сб. География, общество, окружающая среда. Т. III: Природные ресурсы, их использование и охрана / Ред. С.А. Добролюбов, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. М.: Городец. С. 475-487.
81. *Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Микляева И.М., Румянцев В.Ю.* 2003. Растительность Сатинского учебного полигона // Сб. Растительность и животный мир Сатинского учебного полигона. М.: Издательство Московского университета. С. 3-38.
82. *Серегин А.П., Сулова Е.Г.* 2002. Дополнение к списку растений, собранных в гербарий на полуострове Абрау // Сб. Биоразнообразие полуострова Абрау. М.: Географический факультет МГУ. С. 5-18.
83. *Сулова Е.Г., Губанова Е.В.* 2002. Особенности сложения растительных сообществ осыпных склонов в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Биоразнообразие полуострова Абрау. М.: Географический факультет МГУ. С. 23-29.
84. *Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г.* 2002. Оценка современного состояния растительного покрова в ландшафтах Верхне-Волжской низменности // Сб. Материалы международной научной конференции: Актуальные проблемы геоэкологии. Методические, теоретические и региональные вопросы геоэкологии. Тверь: Тверской
- Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2002:5-18.
83. Suslova EG, Gubanov EV. Features of the composition of plant communities of scree slopes in the vicinity of the Maly Utrish village [*Osobennosti slozheniya rastitel'nykh soobshchestv osypnykh sklonov v okrestnostyakh poselka Malyy Utrish*] *Biodiversity of the Abrau Peninsula [Bioraznoobraziye poluoostrova Abrau]*. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2002:23-29.
84. Ogureeva GN, Suslova EG. Assessment of the current state of the vegetation cover in the landscapes of the Upper Volga Lowland [*Otsenka sovremennogo sostoyaniya rastitel'nogo pokrova v landshaftakh Verkhne-Volzhskey nizmennosti*] *Proc. of the International scientific conference "Actual problems of geocology. Methodical, theoretical and regional issues of geocology"* [*Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Aktual'nyye problemy geoekologii. Metodicheskiye, teoreticheskiye i regional'nyye voprosy geoekologii"*]. Tver: Tverskoy gosudarstvennyy universitet, 2002:163-164.
85. Zernov AS, Suslova EG, Sukhorukov AP. To the flora of the Russian Western Caucasus [*K flore Rossiyskogo Zapadnogo Kavkaza*] *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists [Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody]* *Biology Department [Otdel biologicheskij]*. 2002;107 (2):62-63.
86. Smelov OV, Smelova SS, Suslova EG. Vegetation of steppe meadows on the left bank of the Oka river in the Kolomensky district [*Rastitel'nost' ostepnennykh lugov levoberezh'ya r. Oki v Kolomenskom rayone*] *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta]* *Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2001;6:68-71.
87. Suslova EG, Egorova NA. Botanical and geographical practice [*Botaniko-geograficheskaya praktika*] *Integrated geocological practice in the southern taiga: a guide for students and teachers [Kompleksnaya geoekologicheskaya praktika v yuzhnoy tayge: posobiye dlya studentov i prepodavateley]*. Moscow: IPEE RAN, 2001:57-83.
88. Rusanov AV, Arshinova MA, Sinitsin MG,

- государственный университет. С. 163-164.
85. *Зернов А.С., Сулова Е.Г., Сухоруков А.П.* 2002. К флоре Российского Западного Кавказа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 107. № 2. С. 62-63.
86. *Смелов О.В., Смелова С.С., Сулова Е.Г.* 2001. Растительность остепненных лугов левобережья р. Оки в Коломенском районе // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 6. С. 68-71.
87. *Сулова Е.Г., Егорова Н.А.* 2001. Ботанико-географическая практика // Сб. Комплексная геоэкологическая практика в южной тайге: пособие для студентов и преподавателей. М.: ИПЭЭ РАН. С. 57-83.
88. *Русанов А.В., Аршинова М.А., Синицин М.Г., Сулова Е.Г.* 2001. Природопользование в Костромском Заволжье // Сб. Костромское Заволжье. Природа и человек. Эколого-социальный очерк. М.: ИПЭЭ РАН. С. 143-171.
89. *Сулова Е.Г.* 2001. Растительность // Сб. Костромское Заволжье. Природа и человек. Эколого-социальный очерк. М.: ИПЭЭ РАН. С. 88-102.
90. *Rusanov A., Arshinova M., Sinitsyn M., Baskin L., Vasil'evskaya V., Suslova E.* 2001. Nature Management in the Kostroma Trans-Volga Area // Сб. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans: An Environmental and Social Review. М.: РАН. С. 143-166.
91. *Suslova E.* 2001. Vegetation // Сб. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans: An Environmental and Social Review. М.: РАН. С. 89-103.
92. *Kotova T.V., Miklyaeva I.M., Ogureeva G.N., Suslova E.G., Shvergunova L.V.* 2000;8:38-42.
93. *Suslova EG.* Nature management in the Kostroma Zavolzh'ye [*Prirodopol'zovaniye v Kostromskom Zavolzh'ye*] *Kostroma's Zavolzh'ye. Nature and man [Kostromskoye Zavolzh'ye. Priroda i chelovek] Ecological and social essay [Ekologo-sotsial'nyy ocherk]*. Moscow: IPEE RAN, 2001:143-171.
94. *Suslova EG.* Vegetation [*Rastitel'nost' Kostroma's Zavolzh'ye. Nature and man [Kostromskoye Zavolzh'ye. Priroda i chelovek] Ecological and social essay [Ekologo-sotsial'nyy ocherk]*]. Moscow: IPEE RAN, 2001:88-102.
95. *Rusanov A, Arshinova M, Sinitsyn M, Baskin L, Vasil'evskaya V, Suslova E.* Nature Management in the Kostroma Trans-Volga Area. *Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans – An Environmental and Social Review*. Moscow: RAN, 2001:143-166.
96. *Suslova E.* Vegetation. *Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans – An Environmental and Social Review*. Moscow: RAN, 2001:89-103.
97. *Kotova TV, Miklyaeva IM, Ogureeva GN, Suslova EG, Shvergunova LV.* Experience in Mapping the Ecological State of the Plant Cover. *Russian Journal of Ecology*. 2000;31 (5):318-323.
98. *Kotova TV, Miklyaeva IM, Ogureeva GN, Suslova EG, Shvergunova LV.* Experience in mapping the ecological state of vegetation [*Opyt kartografirovaniya ekologicheskogo sostoyaniya rastitel'nogo pokrova*]. *Ecology*. 2000;1:349-354
99. *Leontieva OA, Suslova EG.* Study of biodiversity in forests of the Mediterranean type on the Black Sea coast of the Caucasus [*Izucheniye bioraznoobraziya v lesakh sredizemnomorskogo tipa na chernomorskom poberezh'ye Kavkaza*] *Biogeography, Geography of Biodiversity [Biogeografiya, geografiya bioraznoobraziya]*. Moscow, 2000;8:38-42.
100. *Semina ME, Suslova EG.* A brief floristic analysis of the vegetation cover of the Abrausky Peninsula and a list of species collected in a herbarium in the vicinity of the Maly Utrish village [*Kratkiy floristicheskiy analiz rastitel'nogo pokrova Abrauskogo poluostrova i spisok vidov, sobrannykh v gerbariy v okrestnostyakh poselka Maly Utrish*] *Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population)*

- Shvergunova L.V.* 2000. Experience in Mapping the Ecological State of the Plant Cover // Russian Journal of Ecology. Vol. 31. No. 5. P. 318-323.
93. *Котова Т.В., Микляева И.М., Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Швергунова Л.В.* 2000. Опыт картографирования экологического состояния растительного покрова // Экология. М.: Наука. № 1. С. 349-354.
94. *Леонтьева О.А., Сулова Е.Г.* 2000. Изучение биоразнообразия в лесах средиземноморского типа на черноморском побережье Кавказа // Сб. Биогеография, география биоразнообразия. М. Т. 8. С. 38-42.
95. *Семина М.Е., Сулова Е.Г.* 2000. Краткий флористический анализ растительного покрова Абраусского полуострова и список видов, собранных в гербарий в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау (ландшафты, растительность и животное население). М.: МГУ. С. 69-75.
96. *Сулова Е.Г.* 2000. Некоторые особенности видового состава и характера размещения растительных сообществ Абраусского полуострова в окрестностях пос. Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау. М.: МГУ. С. 63-68.
97. *Семина М.Е., Сулова Е.Г.* 2000. Список сосудистых растений, собранных в гербарий в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау (ландшафты, растительность и животное население) / Ред. А.Н. Иванов, О.А. Леонтьева, Е.Г. Сулова. М.: Географический факультет МГУ. С. 117-132.
98. *Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Сулова Е.Г., Швергунова Л.В.* 1996. Среднемасштабное картографирование растительного [Природа полуострова Абрау (ландшафты, раститель'ности i zhivotnoye naseleniye)]. Moscow: MGU, 2000:69-75.
96. Suslova EG. Some features of the species composition and nature of the distribution of plant communities of the Abrau Peninsula in the vicinity of the Maly Utrish village [*Nekotoryye osobennosti vidovogo sostava i kharaktera razmeshcheniya rastitel'nykh soobshchestv Abrauskogo poluostrova v okrestnostyakh pos. Malyy Utrish*] Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population) [*Priroda poluostrova Abrau (landshafty, rastitel'nost' i zhivotnoye naseleniye)*]. Moscow: MGU, 2000:63-68.
97. Semina ME, Suslova EG. List of vascular plants collected in a herbarium in the vicinity of the Maly Utrish village [*Spisok sosudistyykh rasteniy, sobrannykh v gerbariy v okrestnostyakh poselka Malyy Utrish*] Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population) [*Priroda poluostrova Abrau (landshafty, rastitel'nost' i zhivotnoye naseleniye)*] / eds. A.N. Ivanov, O.A. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2000;117-132.
98. Ogureeva GN, Miklyaeva IM, Suslova EG, Shvergunova LV. Medium-scale mapping of the vegetation cover of the Moscow region on an ecological-dynamic basis [*Srednemasshtabnoye kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Moskovskoy oblasti na ekologo-dinamicheskoy osnove*] Geobotanical mapping [*Geobotanicheskoye kartografirovaniye*]. 1996:3-15.
99. Ogureeva GN, Suslova EG. Assessment of the current state and restoration of forests in the southern suburbs [*Otsenka sovremennogo sostoyaniya i vosstanovleniya lesov Yuzhnogo Podmoskov'ya*] Ecological research in Moscow and the Moscow region [*Ekologicheskiye issledovaniya v Moskve i Moskovskoy oblasti*] Vegetation status. Protection of Nature [*Sostoyaniye rastitel'nogo pokrova. Okhrana prirody*]. Moscow: RAS, 1992:208-212.
100. Ogureeva GN, Suslova EG. Principles of compiling a legend for a medium-scale map of the vegetation of the Moscow region [*Printsipy sostavleniya legendy srednednemasshtabnoy karty rastitel'nosti Moskovskoy oblasti*]

- покрова Московской области на эколого-динамической основе // Геоботаническое картографирование. № ? С. 3-15.
99. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 1992. Оценка современного состояния и восстановления лесов Южного Подмосковья // Сб. Экологические исследования в Москве и Московской области. Состояние растительного покрова. Охрана природы. М.: РАН. С. 208-212.
100. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 1992. Принципы составления легенды среднеломасштабной карты растительности Московской области // Сб. Экологические исследования в Москве и Московской области. Состояние растительного покрова. Охрана природы. М.: РАН. С. 139-163.
101. Сулова Е.Г. 1991. Структура дубрав Центрально-Черноземного заповедника в связи с природными и антропогенными процессами // Сб. Биоиндикация и биомониторинг. М.: Наука. С. 139-149.
102. Сулова Е.Г. 1988. Тенденции развития Среднерусских лесостепных дубрав // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 2. С. 75-79.
103. Сулова Е.Г. 1986. Современное состояние и тенденции развития дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Динамика биоты в экосистемах центральной лесостепи. М.: РАН. С. 43-53.
104. Сулова Е.Г. 1983. Структура и генезис дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Эколого-ценотические и географические особенности растительности. М.: Наука. С. 202-210.
105. Огуреева Г.Н., Слуцкова Е.А., Сулова Е.Г., Николаева О.Н. *Ecological research in Moscow and the Moscow region [Ekologicheskiye issledovaniya v Moskve i Moskovskoy oblasti] Vegetation status. Protection of Nature [Sostoyaniye rastitel'nogo pokrova. Okhrana prirody].* Moscow: RAS, 1992:139-163.
101. Suslova EG. The structure of oak forests of the Central Chernozem Reserve in connection with natural and anthropogenic processes [*Struktura dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika v svyazi s prirodnyimi i antropogennymi protsessami*] *Bioindication and biomonitoring [Bioindikatsiya i biomonitoring].* Moscow: Nauka, 1991:139-149.
102. Suslova EG. Trends in the development of Central Russian forest-steppe oak forests [*Tendentsii razvitiya Srednerusskikh lesostepnykh dubrav*] *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya].* 1988;2:75-79.
103. Suslova EG. Current state and trends in the development of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *Dynamics of biota in ecosystems of the central forest-steppe [Dinamika bioty v ekosistemakh tsentral'noy lesostepi].* Moscow: RAS, 1986:43-53.
104. Suslova EG. Structure and genesis of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Struktura i genezis dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *Ecological-coenotic and geographical features of vegetation [Ekologotsenoticheskiye i geograficheskiye osobennosti rastitel'nosti].* Moscow: Nauka, 1983:202-210.
105. Ogureeva GN, Slutskova EA, Suslova EG, Nikolaeva ON. Vegetation of the Satinsky training ground, Ch. 4 [*Rastitel'nost' Satinskogo uchebnogo poligona*] *Integrated geographical practice in the Moscow region [Kompleksnaya geograficheskaya praktika v Podmoskov'ye].* Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 1980:120-153.
106. Suslova EG, Kovaleva AG. Comparative analysis of steppe vegetation in the Central Chernozem Reserve and on the experimental site of the Botanical Garden of Moscow State University [*Sravnitel'nyy analiz stepnoy*

1980. Растительность Сатинского учебного полигона. Гл. 4 // Сб. Комплексная географическая практика в Подмосковье. М.: Географический факультет МГУ. С. 120-153.
106. **Суслова Е.Г., Ковалева А.Г. 1980.** Сравнительный анализ степной растительности в Центрально-Черноземном заповеднике и на экспериментальном участке Ботанического сада МГУ // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 1. С. 76-84.
107. **Суслова Е.Г. 1979.** Особенности травяного покрова полей в дубравах Центрально-Черноземного заповедника в зависимости от их происхождения и хозяйственного использования // Сб. География и практика народного хозяйства. М.: Географический факультет МГУ. С. 89-94.
108. **Суслова Е.Г., Николаева О.А. 1979.** Распределение растительных сообществ по элементам мезорельефа в Центрально-Черноземном заповеднике // Сб. География и рациональное природопользование. М.: Географический факультет МГУ. С. 81-84.
109. **Суслова Е.Г. 1979.** Структура дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Значение биогеографии для мелиорации. М.: Московский филиал ГО СССР. С. 109-117.
110. **Таскаева Н.Я., Суслова Е.Г. 1977.** Дополнение к флоре Сатинского учебного полигона // Сб. Материалы географических исследований Сатинского учебного полигона и смежных территорий в бассейне Ср. Протвы (депонировано ВИНТИ, № 4550-77). М.: ВИНТИ. Т. 3. С. 123-131.
111. **Максимова В.Ф., Суслова Е.Г.** rastitel'nosti v Tsentral'no-Chernozemnom zapovednike i na eksperimental'nom uchastke Botanicheskogo sada MGU] *Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya].* 1980;1:76-84.
107. Suslova EG. Features of the grass cover of meadows in the oak forests of the Central Chernozem Reserve, depending on their origin and economic use [*Osobennosti travyanogo pokrova polyan v dubravakh Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika v zavisimosti ot ikh proiskhozhdeniya i khozyaystvennogo ispol'zovaniya*] *Geography and practice of the national economy [Geografiya i praktika narodnogo khozyaystva].* Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 1979:89-94.
108. Suslova EG, Nikolaeva OA. Distribution of plant communities by mesorelief elements in the Central Chernozem Reserve [*Raspredeleniye rastitel'nykh soobshchestv po elementam mezorel'yefa v Tsentral'no-Chernozemnom zapovednike*] *Geography and rational nature management [Geografiya i ratsional'noye prirodopol'zovaniye].* Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 1979:81-84.
109. Suslova EG. The structure of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Struktura dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *The value of biogeography for land reclamation [Znacheniyе biogeografii dlya melioratsii].* Moscow: Moskovskiy filial GO SSSR, 1979:109-117.
110. Taskaeva NYa, Suslova EG. Addition to the flora of the Satin's training ground [Dopolneniye k flore Satinskogo uchebnogo poligona] *Proc. of geographical studies of the Satin's training ground and adjacent territories in the basin of Sr. Protva* (deposited by VINITI, No. 4550-77) [*Materialy geograficheskikh issledovaniy Satinskogo uchebnogo poligona i smezhnykh territoriy v bassejne Sr. Protvy*]. Moscow: VINITI, 1977:3:123-131.
111. Maksimova VF, Suslova EG. Patterns of the formation of the aboveground phytomass of grass-shrub and grass layers in the forests of the USSR [*Zakonomernosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy travyano-kustarnichkovogo i travyanogo yarusov v lesakh*

1977. Закономерности формирования надземной фитомассы травяно-кустарничкового и травяного ярусов в лесах СССР // Сб. Биогеографические и индикационные исследования: доклады Московского филиала ГО. М. С. 29-32.
112. **Суслова Е.Г.** 1977. Основные закономерности распределения растительных сообществ Сатинского учебного полигона и их эколого-фитоценотический анализ // Сб. Материалы географических исследований Сатинского учебного полигона и смежных территорий в бассейне Ср. Протвы (депонировано ВИНТИ, № 4550-77). М.: ВИНТИ. Т. 3. С. 100-122.
- SSSR] *Biogeographical and indicator studies: reports of the Moscow branch of GO [Biogeograficheskiye i indikatsionnyye issledovaniya: doklady Moskovskogo filiala GO].* Moscow, 1977:29-32.
112. Suslova EG. Basic regularities in the distribution of plant communities of the Satinsky training ground and their ecological and phytocenotic analysis [Osnovnyye zakonomernosti raspredeleniya rastitel'nykh soobshchestv Satinskogo uchebnogo poligona i ikh ekologo-fitotsenoticheskiy analiz] *Proc. of geographical studies of the Satin's training ground and adjacent territories in the basin of Sr. Protva* (deposited by VINITI, No. 4550-77) [*Materialy geograficheskikh issledovaniy Satinskogo uchebnogo poligona i smezhnykh territoriy v basseyne Sr. Protvy*]. Moscow: VINITI, 1977;3:100-122.

Статьи в сборниках

Articles in Collections

1. **Суслова Е.Г., Кадетов Н.Г.** 2023. Проблемы сохранения растительных сообществ в ближнем Подмосковье // Сб. Вопросы географии. Современная биогеография Северной Евразии. М.: Медиа-Пресс. Т. 156. С. 134-143.
1. Suslova EG, Kadetov NG. Problems of conservation of plant communities in the near Moscow region [*Problemy sokhraneniya rastitel'nykh soobshchestv v blizhnem Podmoskov'ye*] *Questions of geography [Voprosy geografii] Contemporary Biogeography of Northern Eurasia [Sovremennaya biogeografiya Severnoy Yevrazii]*. Moscow: Media-Press, 2023;156:134-143.
2. **Аристархова Е.А., Мучник Е.Э., Пасхина А.А., Суслова Е.Г., Черепенина Д.А.** 2023. Современное распространение рамалины европейской (*Ramalina europaea*) в Московском регионе // Сб. Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции, г. Воронеж, 17-21 мая 2023 г. В 2 т. / Ред. А.С. Горбунов, А.В. Хорошев, О.П. Быковская. Воронеж: Издательский дом ВГУ. Т. 2. С. 24-27.
2. Aristarkhova EA, Muchnik EE, Paskhina AA, Suslova EG, Cherepenina DA. Modern distribution of European ramalina (*Ramalina europaea*) in the Moscow region [*Sovremennoye rasprostraneniye ramaliny yevropeyskoy (Ramalina europaea) v Moskovskom regione*] *Theoretical and applied problems of landscape geography [Teoreticheskiye i prikladnyye problemy landshaftnoy geografii] VII Milkov's Readings: Proc. of the XIV International landscape conference, Voronezh, May 17-21, 2023 [VII Mil'kovskiy chteniya: materialy XIV Mezhdunarodnoy landshaftnoy konferentsii]* / eds. A.S. Gorbunov, A.V. Khoroshev, O.P. Bykovskaya. Voronezh: Izdatel'skiy dom VGU, 2023;2:24-27.
3. **Петрушина М.Н., Суслова Е.Г.** 2022. Постпирогенная динамика субсредиземноморских ландшафтов

- полуострова Абрау // Сб. Природа и общество: интеграционные процессы. Материалы международной научно-практической конференции «Пятые ландшафтно-экологические чтения, посвященные Г.Е. Гришанкову». Симферополь: ИТ «АРИАЛ». С. 233-238.
4. Варлыгина Т.И., Сулова Е.Г., Кадетов Н.Г. 2021. Виды Красной книги Московской области близ восточного предела распространения // Сб. Вестник Тульского государственного университета. Всероссийская научная конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и других регионов России», посвященная перспективам создания национального парка «Тульские засеки», 23-26 ноября 2021 г. Тула: Издательство ТулГУ. С. 24-31.
 5. Ermolaeva E., Suslova E., Bocharnikov M., Tikhonova E. 2020. Forest Cover Types Map and Vegetation Classification Made Using Remote and Terrestrial Methods (Case Study for Valuevo Forest Park, Moscow) // Сб. Proceedings Inter Carto/Inter GIS-26 “GI Support of Sustainable Development of Territories”, September 27-28, 2020, Tbilisi. Tbilisi: Tbilisi University. P. 49-52.
 6. Варлыгина Т.И., Сулова Е.Г., Кадетов Н.Г. 2019. Изучение и сохранение редких растений на ООПТ Московской области // Сб. Вестник Тульского государственного университета. Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и сопредельных регионов Российской Федерации. Тула: Издательство Тульского государственного университета. С. 225-232.
 3. Petrushina MN, Suslova EG. Post-pyrogenic dynamics of sub-Mediterranean landscapes of the Abrau Peninsula [*Postpirogennaya dinamika subsredizemnomorskikh landshaftov poluostrova Abrau*] Nature and society: integration processes [Priroda i obshchestvo: integratsionnyye protsessy] Proc. of the International scientific and practical conference “The Fifth Landscape and Ecological Readings Dedicated to G.E. Grishankov” [Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Pyatyeye landshaftno-ekologicheskkiye chteniya, posvyashchennyye G.Ye. Grishankovu”]. Simferopol: IT “ARIAL”, 2022:233-238.
 4. Varlygina TI, Suslova EG, Kadetov NG. Types of the Red Data Book of the Moscow Region near the eastern limit of distribution [*Vidy Krasnoy knigi Moskovskoy oblasti bliz vostochnogo predela rasprostraneniya*] Bulletin of the Tula State University [*Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*] Proc. of the All-Russian scientific conference “Study and conservation of the biodiversity of the Tula region and other regions of Russia”, dedicated to the prospects for the creation of the national park “Tulsky Zaseki”, November 23-26, 2021 [*Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya “Izucheniye i sokhraneniye bioraznoobraziya Tul'skoy oblasti i drugikh regionov Rossii”, posvyashchennaya perspektivam sozdaniya natsional'nogo parka “Tul'skiye zaseki”*]. Tula: Izdatel'stvo TulGU, 2021:24-31.
 5. Ermolaeva E, Suslova E, Bocharnikov M, Tikhonova E. Forest Cover Types Map and Vegetation Classification Made Using Remote and Terrestrial Methods (Case Study for Valuevo Forest Park, Moscow). Proc. of the Inter Carto/Inter GIS-26 “GI Support of Sustainable Development of Territories”, Tbilisi, September 27-28, 2020. Tbilisi: Tbilisi University, 2020:49-52.
 6. Varlygina TI, Suslova EG, Kadetov NG. Study and conservation of rare plants in specially protected nature areas of the Moscow Region [*Izucheniye i sokhraneniye redkikh rasteniy na OOPT Moskovskoy oblasti*] Bulletin of the Tula State University [*Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*] Study and conservation of biodiversity in the Tula region and

7. Воеводин П.В., Сулова Е.Г., Кадетов Н.Г. 2019. ООПТ Заокской части южного Подмосковья: биоразнообразие, проблемы и перспективы // Сб. Вестник Тульского государственного университета. Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и сопредельных регионов Российской Федерации. Тула: Издательство Тульского государственного университета. С. 164-168.
8. Варлыгина Т.И., Сулова Е.Г. 2019. Результаты мониторинга редких видов сосудистых растений в Московской области // Сб. Материалы VII Международной научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» / Ред. Г.О. Османова, Л.А. Животовский. Йошкар-Ола: Типография «Вертикаль». С. 169-172.
9. Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г. 2019. Современное состояние флоры окрестностей Сатинской учебно-научной станции (Калужская область) // Сб. Камелинские чтения «Ботанико-географические исследования» / Ред. С.А. Овёснгов, О.Г. Баранов. Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. С. 65-67.
10. Сулова Е.Г. 2018. Аконогон (или Татан) альпийский (Горец альпийский) // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 548.
11. Сулова Е.Г. 2018. Астра итальянская, или ромашковая // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, adjacent regions of the Russian Federation [Izucheniye i sokhraneniye bioraznoobraziya Tul'skoy oblasti i sopredel'nykh regionov Rossiyskoy Federatsii]. Tula: Izdatel'stvo Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2019:225-232.
7. Voevodin PV, Suslova EG, Kadetov NG. Specially protected natural areas in the Zaoksky part of the southern Moscow Region: biodiversity, problems and prospects [OOPT Zaokskoy chasti yuzhnogo Podmoskov'ya: bioraznoobraziye, problemy i perspektivy] Bulletin of the Tula State University [Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta] Study and conservation of biodiversity in the Tula Region and adjacent regions of the Russian Federation [Izucheniye i sokhraneniye bioraznoobraziya Tul'skoy oblasti i sopredel'nykh regionov Rossiyskoy Federatsii]. Tula: Izdatel'stvo Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2019:164-168.
8. Varlygina TI, Suslova EG. Results of monitoring of rare species of vascular plants in the Moscow Region [Rezul'taty monitoringa redkikh vidov sosudistykh rasteniy v Moskovskoy oblasti] Proc. of the VII International Scientific Conference "Principles and methods of biodiversity conservation" [Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Printsipy i sposoby sokhraneniya bioraznoobraziya"] / eds. G.O. Osmanova, L.A. Zhivotovsky. Yoshkar-Ola: Tipografiya "Vertikal", 2019:169-172.
9. Kadetov NG, Suslova EG. The current state of the flora of the vicinity of the Satinskaya educational and scientific station (Kaluga region) [Sovremennoye sostoyaniye flory okrestnostey Satinskoy uchebno-nauchnoy stantsii (Kaluzhskaya oblast')] Kamelin's Readings "Botanical and geographical research" [Kamelinskiye chteniya "Botaniko-geograficheskiye issledovaniya"] / eds. S.A. Ovesnov, O.G. Baranov. Perm: Izdatel'stvo Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2019:65-67.
10. Suslova EG. Alpine knotweed [Akonogon (ili Tatan) al'piyskiy (Gorets al'piyskiy)] Red Data Book of the Moscow Region (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye",

- А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье».
12. **Суслова Е.Г. 2018.** Баранец обыкновенный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 458.
 13. **Суслова Е.Г. 2018.** Береза приземистая // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 529.
 14. **Суслова Е.Г. 2018.** Бубенчик лилиелистный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 582.
 15. **Суслова Е.Г. 2018.** Водяника черная, или Вороника, или Шикша // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 540.
 16. **Суслова Е.Г. 2018.** Горец живородящий // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 549.
 17. **Суслова Е.Г. 2018.** Горицвет весенний // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 597.
 18. **Суслова Е.Г. 2018.** Гроздовник виргинский // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / 2018:548.
 11. Suslova EG. European Michaelmas daisy [*Astra ital'yanskaya, ili romashkovaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018.
 12. Suslova EG. Northern firmoss or Fir clubmoss [*Baranets obyknovennyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:458.
 13. Suslova EG. Shrubby birch [*Bereza prizemistaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:529.
 14. Suslova EG. Ladybells [*Bubenchik lilielistnyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:582.
 15. Suslova EG. Crowberry, Black crowberry, or Blackberry [*Vodyanika chernaya, ili Voronika, ili Shiksha*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:540.
 16. Suslova EG. Alpine bistort [*Gorets zhivorodyashchiy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:549.
 17. Suslova EG. Pheasant's eye or False hellebore [*Goritsvet vesenniy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:597.
 18. Suslova EG. Rattlesnake fern [*Grozdochnik virginskiy*] *Red Data Book of the Moscow Region*

- Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 452.
19. **Суслова Е.Г. 2018.** Гроздовник многораздельный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 453.
20. **Суслова Е.Г. 2018.** Гроздовник ромашколистый // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 455.
21. **Суслова Е.Г. 2018.** Живокость высокая // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 599.
22. **Суслова Е.Г. 2018.** Змееголовник Рюйша // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 553.
23. **Суслова Е.Г. 2018.** Ива Виноградова // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 576.
24. **Суслова Е.Г. 2018.** Ива черничная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 577.
25. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:452.
19. Suslova EG. Leathery grapefern [*Grozdochnik mnogorazdel'nyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:453.
20. Suslova EG. Chamomile grape-fern [*Grozdochnik romashkolistnyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:455.
21. Suslova EG. Alpine delphinium [*Zhivokost' vysokaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:599.
22. Suslova EG. Northern dragonhead [*Zmeyegolovnik Ruysha*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:553.
23. Suslova EG. Vinogradov's willow [*Iva Vinogradova*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:576.
24. Suslova EG. Swamp willow [*Iva chernichnaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:577.
25. Suslova EG, Novikov VS. Small bog cranberry [*Klyukva melkoplodnaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:538.
26. Suslova EG. Nepeta pannonica [*Kotovnik*

- Клюква мелкоплодная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 538.
26. **Суслова Е.Г. 2018.** Котовник венгерский, или голый // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 554.
27. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** Лапчатка белая // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 627.
28. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** Лапчатка прямая // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 628.
29. **Суслова Е.Г. 2018.** Лилия кудреватая, или саранка // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 480.
30. **Суслова Е.Г. 2018.** Медуница узколистная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 535.
31. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** Морошка // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, *vengerskiy, ili golyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:554.
27. Suslova EG, Novikov VS. White cinquefoil [*Lapchatka belaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:627.
28. Suslova EG, Novikov VS. Sulphur cinquefoil [*Lapchatka pryamaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:628.
29. Suslova EG. Martagon lily [*Liliya kudrevataya, ili saranka*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:480.
30. Suslova EG. Blue cowslip [*Medunitsa uzkolistnaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:535.
31. Suslova EG, Novikov VS. Cloudberry [*Moroshka*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:629.
32. Varlygina TI, Suslova EG. Swamp mytnik [*Mytnik bolotnyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:611.
33. Suslova EG. Ledebour's Head Head [*Nagolovatka Ledebura*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:644.

- Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 629.
32. Варлыгина Т.И., Сулова Е.Г. 2018. Мытник болотный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 611.
33. Сулова Е.Г. 2018. Наголоватка Ледебура // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 644.
34. Сулова Е.Г., Кадетов Н.Г. 2018. Охрана биоразнообразия на ООПТ Московской области: проблемы и достижения последнего десятилетия // Сб. Актуальные вопросы биогеографии: Материалы Международной конференции, г. Санкт-Петербург, 9-12 октября 2018 г. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет. С. 397-399.
35. Makeeva V.M., Smurov A.V., Politov D.V., Belokon M.M., Belokon Yu.S., Suslova E.G. 2018. Оценка состояния генофонда и жизнеспособности лесопосадок ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) из парков города Москвы и Подмосковья // Сб. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы Третьей международной научно-технической конференции. СПб.: СПбГЛТУ. Т. 1. С. 187-190.
36. Сулова Е.Г., Новиков В.С. 2018. Пухонос альпийский // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство
34. Suslova E.G., Kadetov N.G. Biodiversity protection in specially protected nature areas of the Moscow Region: problems and achievements of the last decade [*Okhrana bioraznoobraziya na OOPT Moskovskoy oblasti: problemy i dostizheniya poslednego desyatiletiya*] Proc. of the International Conference "Topical issues of biogeography", St. Petersburg, October 9-12, 2018 [*Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nyye voprosy biogeografii"*]. Saint-Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2018:397-399.
35. Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG. Assessment of the state of the gene pool and the viability of forest plantations of European spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the parks of the city of Moscow and the Moscow region [*Otsenka sostoyaniya genofonda i zhiznesposobnosti lesoposadok yeli yevropeyskoy (Picea abies (L.) Karst.) iz parkov goroda Moskvy i Podmoskov'ya*] Proc. of the Third International Scientific and Technical Conference "Forests of Russia: politics, industry, science, education" [*Materialy Tret'yey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye"*]. Saint-Petersburg: SPbGLTU, 2018;1:187-190.
36. Suslova E.G., Novikov V.S. Cotton deergrass [*Pukhonos al'piyskiy*] Red Data Book of the Moscow Region (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:523.
37. Suslova E.G. Crepis sibirica [*Skerda sibirskaya*] Red Data Book of the Moscow Region (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:650.
38. Suslova E.G. Leafless Hawk's-beard [*Skerda tupokornevishchnaya, ili obgryzennaya*] Red Data Book of the Moscow Region (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:649.
39. Suslova E.G., Novikov V.S. Common rock-rose

- ПФ «Верховье». С. 523.
37. **Суслова Е.Г. 2018.** Скерда сибирская // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 650.
38. **Суслова Е.Г. 2018.** Скерда тупокорневищная, или обгрызенная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 649.
39. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** Солнцецвет монетолистный, или копеечный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 592.
40. **Суслова Е.Г. 2018.** Солонечник точечный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 651.
41. **Суслова Е.Г., Новиков В.С. 2018.** Триостренник приморский // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 525.
42. **Суслова Е.Г. 2018.** Ужовник обыкновенный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 456.
43. **Суслова Е.Г. 2018.** Чемерица черная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / [Solntsetsvet monetolistnyy, ili kopeyechnyy] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:592.
40. Suslova EG. Galatella punctata [Solonechnik tochechnyy] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:651.
41. Suslova EG, Novikov VS. Arrow-Grass [Triostrennik primorskiy] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:525.
42. Suslova EG. Adder's-tongue [Uzhovnik obyknovennyy] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:456.
43. Suslova EG. Black false hellebore [Chemeritsa chernaya] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:484.
44. Suslova EG. Marsh pea [China bolotnaya] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:533.
45. Suslova EG. Black Pea [China chernaya] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:534.
46. Suslova EG. Glutinous sage [Shalfey kleykiy] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:558.

- Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 484.
44. **Суслова Е.Г. 2018.** Чина болотная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 533.
45. **Суслова Е.Г. 2018.** Чина черная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 534.
46. **Суслова Е.Г. 2018.** Шалфей клейкий // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 558.
47. **Суслова Е.Г. 2018.** Шейхцерия болотная // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 527.
48. **Суслова Е.Г. 2018.** Шлемник копельистный // Сб. Красная книга Московской области (3-е изд.) / Ред. Т.И. Варлыгина, В.А. Зубакин, Н.Б. Никитский, А.В. Свиридов. Московская область: Издательство ПФ «Верховье». С. 559.
49. **Кадетов Н.Г., Суслова Е.Г. 2017.** Инвазионные растения на региональных особо охраняемых природных территориях Московской области // Сб. Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению. Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры
47. Suslova EG. Rannoch-Rush [*Sheykhtseriya bolotnaya*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:527.
48. Suslova EG. Norfolk Skullcap [*Shlemnik kop'yelistnyy*] *Red Data Book of the Moscow Region* (3rd ed.) [*Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti*] / eds. T.I. Varlygin, V.A. Zubakin, N.B. Nikitsky, A.V. Sviridov. Moscow Region: Izdatel'stvo PF "Verkhov'ye", 2018:559.
49. Kadetov NG, Suslova EG. Invasive plants in regional specially protected natural areas of the Moscow region [*Invazionnyye rasteniya na regional'nykh osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh Moskovskoy oblasti*] *Proc. of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the Botany Department of the Tver State University "Biodiversity: approaches to study and conservation"*, Tver, November 8-11, 2017 [*Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu kafedry botaniki Tverskogo gosudarstvennogo universiteta "Bioraznoobraziye: podkhody k izucheniyu i sokhraneniyu"*]. Tver: Izdatel'stvo Tverskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017:131-133.
50. Petrushina MN, Suslova EG. Landscape indication of mudflow activity in the North Caucasus [*Landshaftnaya indikatsiya selevoy aktivnosti na Severnom Kavkaze*] *Proc. of the V International scientific and practical conference "Indication of the state of the environment: theory, practice, education"* [*Trudy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Indikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy: teoriya, praktika, obrazovaniye"*]. Moscow: Buki-Vedi, 2017:328-332.
51. Alekseenko NA, Suslova EG. Experience in creating a vegetation map of the Rovensky natural park (Belgorod region) [*Opyt sozdaniya karty rastitel'nosti prirodnogo parka "Roven'skiy" (Belgorodskaya obl.)*] *Proc. of the International Scientific and Practical Conference "Nature Protection and Regional Development: Harmony and Conflicts (for the Year of Ecology in Russia)"* [*Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-*

- ботаники Тверского государственного университета, г. Тверь, 8-11 ноября 2017 г. Тверь: Издательство Тверского государственного университета. С. 131-133.
50. **Петрушина М.Н., Сулова Е.Г. 2017.** Ландшафтная индикация селевой активности на Северном Кавказе // Сб. Труды V Международной научно-практической конференции «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование». М.: Буки-Веди. С. 328-332.
51. **Алексеевко Н.А., Сулова Е.Г. 2017.** Опыт создания карты растительности природного парка «Ровеньский» (Белгородская обл.) // Сб. Материалы Международной научно-практической конференции «Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты (к Году экологии в России)». Оренбург: Институт степи Уральского отделения РАН.
52. **Сулова Е.Г., Кадетов Н.Г. 2017.** Охрана видов Красной книги Московской области на юге Подмосковья // Сб. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Ведение региональных Красных книг: достижения, проблемы и перспективы». Волгоград: Крутон. С. 128-131.
53. **Сулова Е.Г., Русанов А.В. 2017.** Охрана фиторазнообразия в ландшафтах Московской области // Сб. Proceedings of International Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development: Science – Planning – Governance”. Tbilisi, Georgia: Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. P. 168-173.
54. **Аристархова Е.А., Сулова Е.Г. 2017.** Род *Bryoria Brodo&Hawksw.* в *prakticheskoy konferentsii “Okhrana prirody i regional’noye razvitiye: garmoniya i konflikty (k Godu ekologii v Rossii)”*. Orenburg: Institut stepi Ural’skogo otdeleniya RAN, 2017.
52. Suslova EG, Kadetov NG. Protection of Species of the Red Data Book of the Moscow Region in the South of the Moscow Region [*Okhrana vidov Krasnoy knigi Moskovskoy oblasti na yuge Podmoskov’ya*] *Proc. of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation “Keeping Regional Red Data Books: Achievements, Problems and Prospects”* [Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem “Vedeniye regional’nykh Krasnykh knig: dostizheniya, problemy i perspektivy”]. Volgograd: Kruton, 2017: 128-131.
53. Suslova EG, Rusanov AV. Protection of phytodiversity in the landscapes of the Moscow region [*Okhrana fitoraznoobraziya v landshaftakh Moskovskoy oblasti*] *Proc. of the International conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development: Science – Planning – Governance”*. Tbilisi, Georgia: Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 2017:168-173.
54. Aristarkhova EA, Suslova EG. Genus *Bryoria Brodo&Hawksw.* in the Moscow region [*Rod Bryoria Brodo&Hawksw. v Moskovskoy oblasti*] *Proc. of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the Botany Department of the Tver State University “Biodiversity: approaches to study and conservation”*, Tver, November 8-11, 2017 [Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu kafedry botaniki Tverskogo gosudarstvennogo universiteta “Bioraznoobrazie: podkhody k izucheniyu i sokhraneniyu”]. Tver: Izdatel’stvo Tverskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017:25-28.
55. Kadetov NG, Suslova EG. Specificity of specially protected natural areas on the slopes of river valleys in the Moscow region [*Spetsifika osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy na sklonakh dolin rek v Moskovskoy oblasti*] *Natural heritage of Russia: A collection of scientific papers of the International scientific conference dedicated to the 100th anniversary of the national conservation work and the Year of Ecology in Russia*, Penza, May 23-27, 2017 [*Prirodnoye*

- Московской области // Сб. Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению. Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета г. Тверь, 8-11 ноября 2017 г. Тверь: Издательство Тверского государственного университета. С. 25-28.
55. **Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г. 2017.** Специфика особо охраняемых природных территорий на склонах долин рек в Московской области // Сб. Природное наследие России: сборник научных работ Международной научной конференции, посвященной 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России, г. Пенза, 23-27 мая 2017 г. Пенза: Издательство ПГУ. С. 155-157.
56. **Аристархова Е.А., Сулова Е.Г. 2017.** Ценотическое разнообразие и вопросы охраны растительного покрова ландшафтов Талдомского района // Сб. Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. Материалы XII Международной ландшафтной конференции, гг. Тюмень-Тобольск, 22-25 августа 2017 г. В 3 т. / Ред. К.Н. Дьяконов, К.А. Мерекалова Т.И. Харитонов, А.В. Хорошев. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. Т. 2. С. 30-33.
57. **Алексеенко Н.А., Сулова Е.Г., Шаповалов А.С., Михайлова Т.В. 2016.** Изучение растительного покрова «Ямской степи» с помощью картографического метода // Сб. Материалы Всероссийской (с международным участием) научной школы-наследия России: сборник научных работ Международной научной конференции, посвященной 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России]. Penza: Izdatel'stvo PGU, 2017:155-157.
56. **Aristarkhova EA, Suslova EG, Tikhonova EV.** Coenotic diversity and issues of protection of the vegetation cover of landscapes in the Taldom district of the Moscow region [Tsenoticheskoye raznoobrazie i voprosy okhrany rastitel'nogo pokrova landshaftov Taldomskogo rayona Moskovskoy oblasti]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2018;2 (1):112-138.
57. **Alekseenko NA, Suslova EG, Shapovalov AS, Mikhailova TV.** Study of the vegetation cover of the Yamskaya steppe using the cartographic method [Izucheniye rastitel'nogo pokrova "Yamskoy stepi" s pomoshch'yu kartograficheskogo metoda] *Proc. of the All-Russian (with international participation) scientific school-conference dedicated to the 115th anniversary of the birth of A.A. Uranov [Materialy vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchnoy shkoly-konferentsii, posvyashchennoy 115-letiyu so dnya rozhdeniya A.A. Uranova] Modern concepts of the ecology of biosystems and their role in solving the problems of nature conservation and nature management [Sovremennyye kontseptsii ekologii biosistem i ikh rol' v reshenii problem sokhraneniya prirody i prirodopol'zovaniya]*. Penza: Izdatel'stvo PGU, 2016:337-340.
58. **Suslova EG, Alekseenko NA, Mikhailova TV, Shapovalov AS.** Mapping the species diversity of the "Yamskaya Steppe" site [Kartografirovaniye vidovogo raznoobraziya uchastka "Yamskaya step'"] *Proc. of the 9th International youth conference school "Meridian" "Methods and means of studying nature and society"* [Materialy 9-oy mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly-konferentsii "Meridian": Metody i sredstva issledovaniya prirody i obshchestva] / ed. M.E. Kladovshchikov. Moscow: Institut geografii RAN, 2016:140-143.
59. **Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Rusanov AV.** Comparative assessment of the state of the gene pool and the viability of forest plantations and natural populations of European spruce

- конференции, посвященной 115-летию со дня рождения А.А. Уранова «Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования». Пенза: Издательство ПГУ. С. 337-340.
58. **Суслова Е.Г.,** Алексеев Н.А., Михайлова Т.В., Шаповалов А.С. **2016.** Картографирование видового разнообразия участка «Ямская степь» // Сб. Материалы 9-ой Международной молодежной школы-конференции «Меридиан». Методы и средства исследования природы и общества / Ред. М.Е. Кладовщикова. М.: Институт географии РАН. С. 140-143.
59. **Макеева В.М.,** Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., **Суслова Е.Г.,** Русанов А.В. **2016.** Сравнительная оценка состояния генофонда и жизнеспособности лесопосадок и естественных популяций ели европейской (*Piceaabies* (L.) Karst.) в Москве и Подмоскowie // Сб. Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы II Всероссийской научной конференции (с международным участием). М.: ЦЭПЛ РАН. С. 47-48.
60. **Макеева В.М.,** Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., **Суслова Е.Г.,** Леонтьева О.А., Калинин А.А., Титова С.В. **2015.** Практические и теоретические результаты нового научного направления – геноурбанонологии // Сб. Жизнь Земли. Науки о Земле, экология, история науки, музеология. Серия Жизнь Земли. М.: Издательство Московского университета. Т. 37. С. 84-97.
61. **Суслова Е.Г.,** Кожин М.Н., Серегин А.П. **2015.** Список сосудистых растений полуострова (*Piceaabies* (L.) Karst.) in Moscow and the Moscow region [*Sravnitel'naya otsenka sostoyaniya genofonda i zhiznesposobnosti lesoposadok i yestestvennykh populyatsiy yeli yevropeyskoy (Piceaabies (L.) Karst.) v Moskve i Podmoskov'ye*] Proc. of the II All-Russian Scientific Conference (with international participation) "Scientific foundations of sustainable forest management" [*Materialy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem) "Nauchnyye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami"*]. Moscow: TSEPL RAN, 2016:47-48.
60. Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Leontieva OA, Kalinin AA, Titova SV. Practical and theoretical results of a new scientific direction called genourbanology [Prakticheskiye i teoreticheskiye rezul'taty novogo nauchnogo napravleniya – genourbanologii] *Earth life. Earth Sciences, Ecology, History of Science, Museology* [*Zhizn' Zemli. Nauki o Zemle, ekologiya, istoriya nauki, muzeologiya*] Series "Life of the Earth" [*Seriya Zhizn' Zemli*]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2015;37:84-97.
61. Suslova EG, Kozhin MN, Seregin AP. List of vascular plants of the Abrau Peninsula (from the village of Sukko to Yuzhnaya Ozereevka) [*Spisok sosudistyykh rasteniy poluostrova Abrau (ot pos. Sukko do Yuzhnoy Ozereyevki)*] *Summer practice in biogeography in the Western Caucasus: a textbook* [*Letnyaya praktika po biogeografii na Zapadnom Kavkaze: uchebnoye posobiye*] / eds. O.A. Leontieva, E.G. Suslova, M.N. Kozhin, K.B. Gongalsky, N.G. Kadetov, A.A. Kadetova, E.P. Retz, A.P. Seregin, M.N. Petrushina, V.S. Rudovsky, L.A. Hlyap. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2015:112-209.
62. Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Kalinin AA. Maintaining the viability of animal and plant populations in urban ecosystems (ecological-genetic approach) [*Podderzhanie zhiznesposobnosti populyatsiy zivotnykh i rastitel'nykh organizmov v gorodskikh ekosistemakh (ekologo-geneticheskiy podkhod)*] Proc. of the International Conference "InterCarto. InterGIS" [*Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii "InterKarto.*

- Абрау (от пос. Сукко до Южной Озереевки) // Сб. Летняя практика по биогеографии на Западном Кавказе: учебное пособие / Ред. О.А. Леонтьева, **Е.Г. Сулова**, М.Н. Кожин, К.Б. Гонгальский, Н.Г. Кадетов, А.А. Кадетова, Е.П. Рец, А.П. Серегин, М.Н. Петрушина, В.С. Рудовский, Л.А. Хляп. М.: Географический факультет МГУ. С. 112-209.
62. *Макеева В.М., Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., Сулова Е.Г., Калинин А.А.* **2014.** Поддержание жизнеспособности популяций животных и растительных организмов в городских экосистемах (эколого-генетический подход) // Сб. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М.: Наука. Т. 20. С. 525-530.
63. *Макеева В.М., Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., Сулова Е.Г., Радченко И.В., Калинин А.А.* **2014.** Эколого-генетические основы устойчивого сохранения лесных ресурсов антропогенных экосистем // Сб. Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции, г. Москва, 21-23 октября 2014 г. М.: ЦЭПЛ РАН. С. 116-118.
64. *Ogureeva G., Suslova E., Leontyeva O., Petrushina M.* **2013.** Justification for Creation of the “Utrish” Reserve // Сб. Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges. Proceedings of EMECS 10 MEDCOAST 2013, Joint Conference, Marmaris, Turkey, 30 October – 03 November. Marmaris, Turkey. Vol. 2. P. 309-319.
65. *Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Леонтьева О.А.* **2013.** Ботанико-географические аспекты *InterGIS*]. Moscow: Nauka, 2014;20:525-530.
63. *Makeeva VM, Smurov AV, Politov DV, Belokon MM, Belokon YuS, Suslova EG, Radchenko IV, Kalinin AA.* Ecological and genetic foundations for the sustainable conservation of forest resources of anthropogenic ecosystems [*Ekologo-geneticheskiye osnovy ustoychivogo sokhraneniya lesnykh resursov antropogennykh ekosistem*] *Proc. of the All-Russian Scientific Conference “Scientific foundations of sustainable forest management”*, Moscow, October 21-23, 2014 [*Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii “Nauchnyye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami”*]. Moscow: TSEPL RAN, 2014:116-118.
64. *Ogureeva G, Suslova E, Leontyeva O, Petrushina M.* Justification for Creation of the “Utrish” Reserve. *Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges. Proc. of EMECS 10 MEDCOAST 2013, Joint Conference, Marmaris, Turkey, 30 October – 03 November. Marmaris, Turkey, 2013;2:309-319.*
65. *Ogureeva GN, Suslova EG, Leontyeva OA.* Botanical and geographical aspects of the ecological justification for the creation of the Utrish reserve [*Botaniko-geograficheskiye aspekty ekologicheskogo obosnovaniya sozdaniya zapovednika “Utrish”*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Utrish”] Series “Scientific Works” [Seriya Nauchnyye trudy]* / eds. A.G. Krokhnal, G.N. Ogureeva. Anapa, 2013;1:59-66.
66. *Suslova EG.* Features of the flora of the Abrau Peninsula and the Utrish reserve [*Osobennosti flory poluostrova Abrau i zapovednika “Utrish”*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Utrish”] Series “Scientific Works” [Seriya Nauchnyye trudy]*. Anapa, 2013;1:129-135.
67. *Leontyeva OA, Suslova EG, Ogureeva GN, Gongalsky KB.* Abrau Peninsula [*Poluostrov Abrau*] *Emerald Data Book of the Russian Federation [Izumrudnaya kniga Rossiyskoy Federatsii] Territories of Special Conservation Importance in European Russia [Territorii osobogo prirodookhrannogo znacheniya Yevropeyskoy Rossii] Suggestions for discovery*

- экологического обоснования создания заповедника «Утриш» // Сб. Биоразнообразии Государственного природного заповедника «Утриш» / Гл. ред. А.Г. Крохмаль. Науч. ред. Г.Н. Огуреева. Серия Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 59-66.
66. **Суслова Е.Г. 2013.** Особенности флоры полуострова Абрау и заповедника «Утриш» // Сб. Биоразнообразии государственного природного заповедника «Утриш». Серия Научные труды. Анапа. Т. 1. С. 129-135.
67. **Леонтьева О.А., Суслова Е.Г., Огуреева Г.Н., Гонгальский К.Б. 2013.** Полуостров Абрау // Сб. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. Ч. 1. М. Т. 1. С. 214-217.
68. **Суслова Е.Г., Рец Е.П. 2013.** Растительность полуострова Абрау и ее отображение на крупномасштабной геоботанической карте // Сб. Биоразнообразии Государственного природного заповедника «Утриш» / Гл. ред. А.Г. Крохмаль. Науч. ред. Г.Н. Огуреева. Серия Научные труды. Т. 1. Анапа. С. 67-76.
69. **Суслова Е.Г. 2013.** Редкие и уязвимые виды растений // Сб. Атлас Государственного природного заповедника «Утриш». Серия Научные труды. Анапа. Т. 2. С. 58.
70. **Петрушина М.Н., Суслова Е.Г. 2012.** Индикация селевой активности в ландшафтах Северного Кавказа // Сб. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции, 7-10 ноября 2012 г. Грозный. С. 634-640.
- [*Predlozheniya po vyyavleniyu*]. Moscow, 2013;1 (1):214-217.
68. Suslova EG, Rets EP. Vegetation of the Abrau Peninsula and its display on a large-scale geobotanical map [*Rastitel'nost' poluostrova Abrau i yeye otobrazheniye na krupnomasshtabnoy geobotanicheskoy karte*] *Biodiversity of the Utrish State Nature Reserve [Bioraznoobraziiye Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]* / eds. A.G. Krokhmal, G.N. Ogureeva. Anapa, 2013;1:67-76.
69. Suslova EG. Rare and vulnerable plant species [*Redkiye i uyazvimyye vidy rasteniy*] *Atlas of the Utrish State Nature Reserve [Atlas Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Utrish"] Series "Scientific Works" [Seriya Nauchnyye trudy]*. Anapa, 2013;2:58.
70. Petrushina MN, Suslova EG. Indication of mudflow activity in the landscapes of the North Caucasus [*Indikatsiya selevoy aktivnosti v landshaftakh Severnogo Kavkaza*] *Proc. of the Second All-Russian Scientific and Technical Conference "Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus"*, November 7-10, 2012, Grozny [*Materialy Vtoroy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza"*]. 2012:634-640.
71. Suslova EG, Zavyalova EA. The state of protection of rare plant species in the Moscow region [*Sostoyaniye okhrany redkikh vidov rasteniy v Moskovskoy oblasti*] *Current biogeography [Aktual'naya biogeografiya] Section III: Issues of biodiversity protection. Issues of geography [Voprosy okhrany bioraznoobraziiya. Voprosy geografii]*. Moscow: Kodeks, 2012;143:192-200.
72. Petrushina MN, Suslova EG. The use of landscape indication in the study of mudflow activity in the North Caucasus [*Ispol'zovaniye landshaftnoy indikatsii pri izuchenii aktivnosti seley na Severnom Kavkaze*] *Geography: problems of science and education [Geografiya: problemy nauki i obrazovaniya]*. Saint-Petersburg, 2011:56-59.
73. Ogureeva GN, Suslova EG, Leontieva OA. Creation of the Utrish Reserve: Botanical and Geographical Aspects of Ecological Substantiation

71. **Суслова Е.Г., Завьялова Е.А. 2012.** Состояние охраны редких видов растений в Московской области // Сб. Актуальная биогеография. Раздел III: Вопросы охраны биоразнообразия. Вопросы географии. М.: Кодекс. Т. 143. С. 192-200.
72. **Петрушина М.Н., Суслова Е.Г. 2011.** Использование ландшафтной индикации при изучении активности селей на Северном Кавказе // Сб. География: проблемы науки и образования. СПб. С. 56-59.
73. **Озуреева Г.Н., Суслова Е.Г., Леонтьева О.А. 2011.** Создание заповедника Утриш: ботанико-географические аспекты экологического обоснования // Сб. Международная научная конференция «Географические основы формирования экологических сетей в Северной Евразии».
74. **Петрушина М.Н., Суслова Е.Г. 2010.** Фитоиндикационные исследования селевой активности в ООПТ Северного Кавказа // Сб. Материалы VII Международной научной конференции «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений». Терек, Владикавказ.
75. **Leontyeva O.A., Suslova E.G., Pereshkolnik S.L., Petrushina M.N. 2009.** To Create Utrish Reserve at the Abrau Peninsula // Сб. Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST 09. Vol. 1. P. 249-260.
76. **Суслова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Горичветвесенний – *Adonis vernalis* L. // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 582-582.
77. **Рец Е.П., Суслова Е.Г. 2008.** Классификация и [Sozdaniye zapovednika Utrish: botaniko-geograficheskiye aspekty ekologicheskogo obosnovaniya] Proc. of the International Scientific Conference “Geographical Basis for the Formation of Ecological Networks in Northern Eurasia” [Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya “Geograficheskiye osnovy formirovaniya ekologicheskikh setey v Severnoy Yevrazii”]. 2011.
74. Petrushina MN, Suslova EG. Phytoindicative studies of mudflow activity in the specially protected natural areas of the North Caucasus [Indikatsionnyye issledovaniya selevoy aktivnosti v OOPT Severnogo Kavkaza] Proc. of the VII International Scientific Conference “Sustainable Development of Mountain Territories in the Conditions of Global Changes” [Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii “Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy v usloviyakh global’nykh izmeneniy”]. Terek, Vladikavkaz, 2010.
75. Leontyeva OA, Suslova EG, Pereshkolnik SL, Petrushina MN. To Create Utrish Reserve at the Abrau Peninsula. Proc. of the 9th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST 09. 2009;1:249-260.
76. Suslova EG, Kulikova GG. Adonis vernalis L. [Goritsvet vesenny – Adonis vernalis L.] Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:582-582.
77. Retz EP, Suslova EG. Classification and large-scale mapping of mountain vegetation in the Northwestern Caucasus (Abrau Peninsula) [Klassifikatsiya i krupnomasshtabnoye kartografirovaniye gornoy rastitel’nosti Severo-Zapadnogo Kavkaza (p-ov Abrau)] Biogeography at Moscow University [Biogeografiya v Moskovskom universitete] 60 years of the Biogeography Department [60 let kafedre biogeografii]. Moscow: GEOS, 2008:151-163.
78. Suslova EG, Kulikova GG. Nepeta pannonica L. [N. nuda L.] [Kotovnik vengerskiy ili golyy – Nepeta pannonica L. [N. nuda L.]] Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:647-647.
79. Leontieva OA, Suslova EG, Pereshkolnik SL. On

- крупномасштабное картографирование горной растительности Северо-Западного Кавказа (п-ов Абрау) // Сб. Биogeография в Московском университете. 60 лет кафедре биogeографии. М.: ГЕОС. С. 151-163.
78. **Суслова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Котовник венгерский или голый – *Nepeta ranunculoides* L. [*N. nuda* L.] // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 647-647.
79. **Леонтьева О.А., Суслова Е.Г., Перешкольник С.Л. 2008.** О необходимости создания Утришского заповедника // Сб. Перспективы развития особо охраняемых природных территорий и туризма на Северном Кавказе: Материалы Международной научно-практической конференции / Ред. В.В. Ковалев. Майкоп: Качество Майкоп. С. 116-122.
80. **Алексеев Ю.Е., Варлыгина Т.И., Вахрамеева М.Г., Виляева Н.А., Киселева К.В., Куликова Г.Г., Левичкая Г.Е., Новиков В.С., Октябрева Н.Б., Суслова Е.Г., Тихомиров В.Н., Харитонов Н.П., Швецов А.Н., Щербачев А.В., Яницкая Т.О. 2008.** Сосудистые растения // Сб. Красная книга Московской области / Ред. Н.Б. Никитский. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 481-694.
81. **Петрушина М.Н., Суслова Е.Г. 2008.** Фитоиндикация динамики селевых конусов на Центральном Кавказе // Сб. Ландшафтная экология. М.: РИЦ МГУ. Т. 7. С. 56-62.
82. **Суслова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Шлемник высокий – *Scutellaria altissima* L. // Сб. Красная книга Московской области (2-е изд.). М.: Товарищество научных изданий
- the need to create the Utrish Nature Reserve [*Obneobkhodimosti sozdaniya Utrishskogo zapovednika*] *Proc. of the International Scientific and Practical Conference “Prospects for the development of specially protected natural areas and tourism in the North Caucasus” [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Perspektivy razvitiya osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy i turizma na Severnom Kavkaze”]* / ed. V.V. Kovalev. Maykop: Kachestvo Maykop, 2008:116-122.
80. **Alekseev YuE, Varlygina TI, Vakhrameeva MG, Vilyaeva NA, Kiseleva KV, Kulikova GG, Levitskaya GE, Novikov VS, Oktyabreva NB, Suslova EG, Tikhomirov VN, Kharitonov NP, Shvetsov AN, Shcherbakov AV, Yanitskaya TO.** Vascular plants [*Sosudistyye rasteniya*] *Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:481-694.
81. **Petrushina MN, Suslova EG.** Phytoidication of the dynamics of mudflow cones in the Central Caucasus [*Fitoindikatsiya dinamiki selevykh konusov na Tsentral’nom Kavkaze*] *Landscape Ecology [Landshaftnaya ekologiya]*. Moscow: RITS MGGU, 2008;7:56-62.
82. **Suslova EG, Kulikova GG.** *Scutellaria altissima* L. [*Shlemnik vysokiy – Scutellaria altissima* L.] *Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:652.
83. **Suslova EG, Kulikova GG.** *Scutellaria hastifolia* L. [*Shlemnik kop’yelistnyy – Scutellaria hastifolia* L.] *Red Data Book of the Moscow Region (2nd ed.) [Krasnaya kniga Moskovskoy oblasti]* / ed. N.B. Nikitsky. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008:653-653.
84. **Suslova EG, Petrushina MN.** Mapping of the vegetation cover of the Abrau peninsula in the vicinity of the Maly Utrish village [*Kartografirovaniye rastitel’nogo pokrova poluostrova Abrau v okrestnostyakh pos. Malyy Utrish*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus: a collection of scientific papers [Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza: sbornik nauchnykh trudov]* / eds. K.B. Gongalsky,

- КМК. С. 652.
83. **Суслова Е.Г., Куликова Г.Г. 2008.** Шлемник копельистный – *Scutellaria hastifolia* L. // Сб. Красная книга Московской области / Ред. Н.Б. Никитский. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 653-653.
84. **Суслова Е.Г., Петрушина М.Н. 2007.** Картографирование растительного покрова полуострова Абрау в окрестностях пос. Малый Утриш // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа: сборник научных трудов / Ред. К.Б. Гонгальский, О.А. Леонтьева, **Е.Г. Суслова.** М. С. 5-15.
85. **Пахомова Е.С., Александрова П.А., Ермохина К.А., Суслова Е.Г. 2007.** Пространственная структура фисташково-можжевельных редколесий на приморских склонах полуострова Абрау // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа. М.: Географический факультет МГУ. С. 36-45.
86. **Микляева И.М., Огуреева Г.Н., Суслова Е.Г. 2007.** Растительный покров Сатинского полигона: учебно-методическое пособие // Сб. Общегеографическая практика в Подмосковь / Ред. Г.И. Рычагов. М.: Географический факультет МГУ. С. 177-221.
87. **Серегин А.П., Суслова Е.Г. 2007.** Флора сосудистых растений окрестностей пос. Малый Утриш // Сб. Ландшафтное и биологическое разнообразие Северо-Западного Кавказа / Ред. К.Б. Гонгальский, О.А. Леонтьева, **Е.Г. Суслова.** М. С. 104-174.
88. **Лурье И.К., Микляева И.М., Михайлов Д.И., Огуреева Г.Н., Суслова Е.Г. 2006.** Картографирование растительности О.А. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow, 2007:5-15.
85. Pakhomova ES, Aleksandrova PA, Ermokhina KA, Suslova EG. Spatial structure of pistachio-juniper sparse forests on the coastal slopes of the Abrau Peninsula [*Prostranstvennaya struktura fistashkovo-mozhzevelovykh redkolesiy na primorskikh sklonakh poluostrova Abrau*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus [Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza]*. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2007:36-45.
86. Miklyaeva IM, Ogureeva GN, Suslova EG. Vegetation cover of the Satinsky polygon: teaching aid [*Rastitel'nyy pokrov Satinskogo poligona: uchebno-metodicheskoye posobiye*] *General geographic practice in the Moscow region [Obshchegeograficheskaya praktika v Podmoskov']* / ed. G.I. Levers. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2007:177-221.
87. Seregin AP, Suslova EG. Flora of vascular plants in the vicinity of the Maly Utrish village [*Flora sosudistykh rasteniy okrestnostey pos. Maly Utrish*] *Landscape and biological diversity of the Northwestern Caucasus [Landshaftnoye i biologicheskoye raznoobraziye Severo-Zapadnogo Kavkaza]* / eds. K.B. Gongalsky, O.A. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow, 2007:104-174.
88. Lurie IK, Miklyaeva IM, Mikhailov DI, Ogureeva GN, Suslova EG. Vegetation mapping using GIS technologies [*Kartografirovaniye rastitel'nosti s ispol'zovaniyem GIS-tekhnologiy*] *Ecosystems of broad-leaved-coniferous forests of the Southern Moscow Region [Ekosistemy shirokolistvenno-khvoynnykh lesov Yuzhnogo Podmoskov'ya]*. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2006:136-144.
89. Suslova EG. Cartographic research in the Central Chernozem Reserve [*Kartograficheskiye issledovaniya v Tsentral'no-Chernozemnom zapovednike*] *Proc. of the Central Chernozem Reserve [Trudy Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika]*. 2006;19:65-70.
90. Suslova EG, Ogureeva GN, Arkhipova MV. Biotic diversity, regional structure and protection of coniferous-deciduous forests in Russia [*Bioticheskoye raznoobraziye, regional'naya struktura i okhrana khvoyno-shirokolistvennykh lesov Rossii*] *Geography, society, environment*

- с использованием ГИС-технологий // Сб. Экосистемы широколиственно-хвойных лесов Южного Подмосковья. М.: Географический факультет МГУ. С. 136-144.
89. **Суслова Е.Г.** 2006. Картографические исследования в Центрально-Черноземном заповеднике // Труды Центрально-Черноземного заповедника. Вып. 19. Курск. С. 65-70 + цветн. вкладки.
90. **Суслова Е.Г., Огуреева Г.Н., Архипова М.В.** 2004. Биотическое разнообразие, региональная структура и охрана хвойно-широколиственных лесов России // Сб. География, общество, окружающая среда. Т. III: Природные ресурсы, их использование и охрана / Ред. С.А. Добролюбов, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. М.: Городец. С. 461-474.
91. **Суслова Е.Г., Микляева И.М., Огуреева Г.Н.** 2004. Растительные ресурсы // Сб. Атлас «Московская область. История. Культура. Экономика». М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картографирование». С. 396-397.
92. **Суслова Е.Г., Микляева И.М., Огуреева Г.Н.** 2004. Растительный мир // Сб. Атлас «Московская область. История. Культура. Экономика». М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картографирование». С. 46-49.
93. **Огуреева Г.Н., Суслова Е.Г., Архипова М.В.** 2004. Региональная структура, ценоотическое разнообразие биома восточноевропейских широколиственных лесов России // Сб. География, общество, окружающая среда. Т. III: Природные ресурсы, их использование и охрана / Ред. [Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda] Vol. III: Natural resources, their use and protection [T. III: Prirodnyye resursy, ikh ispol'zovaniye i okhrana] / eds. S.A. Dobrolyubov, N.S. Kasimov, S.M. Malkhazov. Moscow: Gorodets, 2004:461-474.
91. Suslova EG, Miklyaeva IM, Ogureeva GN. Plant resources [Rastitel'nyye resursy] Atlas "Moscow region. Story. Culture. Economy" [Atlas "Moskovskaya oblast'. Istoriya. Kul'tura. Ekonomika"]. Moscow: IPTS "Dizayn. Informatsiya. Kartografirovaniye", 2004:396-397.
92. Suslova EG, Miklyaeva IM, Ogureeva GN. Plant world [Rastitel'nyy mir] Atlas "Moscow region. Story. Culture. Economy" [Atlas "Moskovskaya oblast'. Istoriya. Kul'tura. Ekonomika"]. Moscow: IPTS "Dizayn. Informatsiya. Kartografirovaniye", 2004:46-49.
93. Ogureeva GN, Suslova EG, Arkhipova MV. Regional structure, coenotic diversity of the biome of Eastern European broad-leaved forests in Russia [Regional'naya struktura, tsenoticheskoye raznoobraziye bioma vostochnoyevropeyskikh shirokolistvennykh lesov Rossii] Geography, society, environment [Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda] Vol. III: Natural resources, their use and protection [T. III: Prirodnyye resursy, ikh ispol'zovaniye i okhrana] / eds. S.A. Dobrolyubov, N.S. Kasimov, S.M. Malkhazov. Moscow: Gorodets, 2004:475-487.
94. Ogureeva GN, Suslova EG, Miklyaeva IM, Rumyantsev VYu. Vegetation of the Satinsky training ground [Rastitel'nost' Satinskogo uchebnogo poligona] Flora and fauna of the Satinsky training ground [Rastitel'nost' i zhivotnyy mir Satinskogo uchebnogo poligona]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2003:3-38.
95. Seregin AP, Suslova EG. Addition to the list of plants collected in the herbarium on the Abrau Peninsula [Dopolneniye k spisku rasteniy, sobrannykh v gerbaryi na poluostrove Abrau] Biodiversity of the Abrau Peninsula [Bioraznoobraziye poluostrova Abrau]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2002:5-18.
96. Suslova EG, Gubanova EV. Features of the composition of plant communities of scree slopes

- С.А. Добролюбов, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. М.: Городец. С. 475-487.
94. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г., Микляева И.М., Румянцев В.Ю. 2003. Растительность Сатинского учебного полигона // Сб. Растительность и животный мир Сатинского учебного полигона. М.: Издательство Московского университета. С. 3-38.
95. Серегин А.П., Сулова Е.Г. 2002. Дополнение к списку растений, собранных в гербарий на полуострове Абрау // Сб. Биоразнообразие полуострова Абрау. М.: Географический факультет МГУ. С. 5-18.
96. Сулова Е.Г., Губанова Е.В. 2002. Особенности сложения растительных сообществ осыпных склонов в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Биоразнообразие полуострова Абрау. М.: Географический факультет МГУ. С. 23-29.
97. Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 2002. Оценка современного состояния растительного покрова в ландшафтах Верхне-Волжской низменности // Сб. Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы геоэкологии. Методические, теоретические и региональные вопросы геоэкологии». Тверь: Тверской государственный университет. С. 163-164.
98. Rusanov A., Arshinova M., Sinitsyn M., Vasil'evskaya V., Suslova E. 2001. Nature Management in the Kostroma Trans-Volga Area. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans // Сб. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans: An Environmental and Social Review. М.: РАН. С. 143-166.
- in the vicinity of the Maly Utrish village [Osobennosti slozheniya rastitel'nykh soobshchestv osypnykh sklonov v okrestnostyakh poselka Malyy Utrish] Biodiversity of the Abrau Peninsula [Bioraznoobraziye poluostrova Abrau]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2002:23-29.
97. Ogureeva GN, Suslova EG. Assessment of the current state of the vegetation cover in the landscapes of the Upper Volga Lowland [Otsenka sovremennogo sostoyaniya rastitel'nogo pokrova v landshaftakh Verkhne-Volzhskey nizmennosti] Proc. of the International scientific conference "Actual problems of geocology. Methodical, theoretical and regional issues of geocology" [Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Aktual'nyye problemy geoekologii. Metodicheskiye, teoreticheskiye i regional'nyye voprosy geoekologii"]. Tver: Tverskoy gosudarstvennyy universitet, 2002:163-164.
98. Zernov AS, Suslova EG, Sukhorukov AP. To the flora of the Russian Western Caucasus [K flore Rossiyskogo Zapadnogo Kavkaza] Bulletin of the Moscow Society of Naturalists [Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody] Biology Department [Otdel biologicheskoy]. 2002;107 (2):62-63.
99. Smelov OV, Smelova SS, Suslova EG. Vegetation of steppe meadows on the left bank of the Oka river in the Kolomensky district [Rastitel'nost' ostepnennykh lugov levoberezh'ya r. Oki v Kolomenskom rayone] Herald of the Moscow University [Vestnik Moskovskogo universiteta] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]. 2001;6:68-71.
100. Suslova EG, Egorova NA. Botanical and geographical practice [Botaniko-geograficheskaya praktika] Integrated geocological practice in the southern taiga: a guide for students and teachers [Kompleksnaya geoekologicheskaya praktika v yuzhnoy tayge: posobiye dlya studentov i prepodavateley]. Moscow: IPEE RAN, 2001:57-83.
101. Rusanov AV, Arshinova MA, Sinitsyn MG, Suslova EG. Nature management in the Kostroma Zavolzhye [Prirodopol'zovaniye v Kostromskom Zavolzh'ye] Kostroma's Zavolzhye. Nature and man [Kostromskoye Zavolzh'ye. Priroda i chelovek] Ecological and social essay [Ekologo-

99. **Suslova E.** 2001. Vegetation // Сб. Kostroma Trans-Volga Area: Nature and Humans: An Environmental and Social Review. М.: РАН. С. 89-103.
100. **Суслова Е.Г., Егорова Н.А.** 2001. Ботанико-географическая практика // Сб. Комплексная геоэкологическая практика в южной тайге: пособие для студентов и преподавателей. М.: ИПЭЭ РАН. С. 57-83.
101. **Русанов А.В., Аришинова М.А., Синицин М.Г., Суслова Е.Г.** 2001. Природопользование в Костромском Заволжье // Сб. Костромское Заволжье. Природа и человек. Эколого-социальный очерк. М.: ИПЭЭ РАН. С. 143-171.
102. **Суслова Е.Г.** 2001. Растительность // Сб. Костромское Заволжье. Природа и человек. Эколого-социальный очерк. М.: ИПЭЭ РАН. С. 88-102.
103. **Леонтьева О.А., Суслова Е.Г.** 2000. Изучение биоразнообразия в лесах средиземноморского типа на черноморском побережье Кавказа // Сб. Биогеография, география биоразнообразия. М. Т. 8. С. 38-42.
104. **Семина М.Е., Суслова Е.Г.** 2000. Краткий флористический анализ растительного покрова Абраусского полуострова и список видов, собранных в гербарий в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау (ландшафты, растительность и животное население). М.: МГУ. С. 69-75.
105. **Суслова Е.Г.** 2000. Некоторые особенности видового состава и характера размещения растительных сообществ Абраусского полуострова в окрестностях пос. Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау. М.: МГУ. С. 63-68.
106. **Семина М.Е., Суслова Е.Г.** 2000. Список сосудистых растений, *sotsial'nyy ocherk*]. Moscow: IPEE RAN, 2001:143-171.
102. **Suslova EG.** Vegetation [*Rastitel'nost*] *Kostroma's Zavolzh'ye. Nature and man* [*Kostromskoye Zavolzh'ye. Priroda i chelovek*] *Ecological and social essay* [*Ekologo-sotsial'nyy ocherk*]. Moscow: IPEE RAN, 2001:88-102.
103. **Leontieva OA, Suslova EG.** Study of biodiversity in forests of the Mediterranean type on the Black Sea coast of the Caucasus [*Izucheniye bioraznoobraziya v lesakh sredizemnomorskogo tipa na chernomorskom poberezh'ye Kavkaza*] *Biogeography, Geography of Biodiversity* [*Biogeografiya, geografiya bioraznoobraziya*]. Moscow, 2000;8:38-42.
104. **Semina ME, Suslova EG.** A brief floristic analysis of the vegetation cover of the Abrausky Peninsula and a list of species collected in a herbarium in the vicinity of the Maly Utrish village [*Kratkiy floristicheskiy analiz rastitel'nogo pokrova Abrauskogo poluostrova i spisok vidov, sobrannykh v gerbariy v okrestnostyakh poselka Malyy Utrish*] *Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population)* [*Priroda poluostrova Abrau (landshafty, rastitel'nost' i zhivotnoye naseleniye)*]. Moscow: MGU, 2000:69-75.
105. **Suslova EG.** Some features of the species composition and nature of the distribution of plant communities of the Abrau Peninsula in the vicinity of the Maly Utrish village [*Nekotoryye osobennosti vidovogo sostava i kharaktera razmeshcheniya rastitel'nykh soobshchestv Abrauskogo poluostrova v okrestnostyakh pos. Malyy Utrish*] *Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population)* [*Priroda poluostrova Abrau (landshafty, rastitel'nost' i zhivotnoye naseleniye)*]. Moscow: MGU, 2000:63-68.
106. **Semina ME, Suslova EG.** List of vascular plants collected in a herbarium in the vicinity of the Maly Utrish village [*Spisok sosudistykh rasteniy, sobrannykh v gerbariy v okrestnostyakh poselka Malyy Utrish*] *Nature of the Abrau Peninsula (landscapes, vegetation and animal population)* [*Priroda poluostrova Abrau (landshafty, rastitel'nost' i zhivotnoye naseleniye)*] / eds. A.N. Ivanov, O.A. Leontieva, E.G. Suslova. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU,

- собранных в гербарий в окрестностях поселка Малый Утриш // Сб. Природа полуострова Абрау (ландшафты, растительность и животное население) / Ред. А.Н. Иванов, О.А. Леонтьева, **Е.Г. Сулова**. М.: Географический факультет МГУ. С. 117-132.
107. **Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 1992.** Оценка современного состояния и восстановления лесов Южного Подмосковья // Сб. Экологические исследования в Москве и Московской области. Состояние растительного покрова. Охрана природы. М.: РАН. С. 208-212.
108. **Огуреева Г.Н., Сулова Е.Г. 1992.** Принципы составления легенды среднemasштабной карты растительности Московской области // Сб. Экологические исследования в Москве и Московской области. Состояние растительного покрова. Охрана природы. М.: РАН. С. 139-163.
109. **Сулова Е.Г. 1991.** Структура дубрав Центрально-Черноземного заповедника в связи с природными и антропогенными процессами // Сб. Биоиндикация и биомониторинг. М.: Наука. С. 139-149.
110. **Сулова Е.Г. 1986.** Современное состояние и тенденции развития дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Динамика биоты в экосистемах центральной лесостепи. М.: РАН. С. 43-53.
111. **Сулова Е.Г. 1983.** Структура и генезис дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Эколого-ценотические и географические особенности растительности. М.: Наука. С. 202-210.
112. **Огуреева Г.Н., Слуцкова Е.А., Сулова Е.Г., Николаева О.Н. 1980.** Растительность Сатинского учебного полигона. Гл. 4 // Сб. Комплексная географическая
- 2000;117-132.
107. Ogureeva GN, Suslova EG. Assessment of the current state and restoration of forests in the southern suburbs [*Otsenka sovremennogo sostoyaniya i vosstanovleniya lesov Yuzhnogo Podmoskov'ya*] *Ecological research in Moscow and the Moscow region [Ekologicheskiye issledovaniya v Moskve i Moskovskoy oblasti] Vegetation status. Protection of Nature [Sostoyaniye rastitel'nogo pokrova. Okhrana prirody]*. Moscow: RAS, 1992:208-212.
108. Ogureeva GN, Suslova EG. Principles of compiling a legend for a medium-scale map of the vegetation of the Moscow region [*Printsipy sostavleniya legendy srednednemasshtabnoy karty rastitel'nosti Moskovskoy oblasti*] *Ecological research in Moscow and the Moscow region [Ekologicheskiye issledovaniya v Moskve i Moskovskoy oblasti] Vegetation status. Protection of Nature [Sostoyaniye rastitel'nogo pokrova. Okhrana prirody]*. Moscow: RAS, 1992:139-163.
109. Suslova EG. The structure of oak forests of the Central Chernozem Reserve in connection with natural and anthropogenic processes [*Struktura dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika v svyazi s prirodnyimi i antropogennymi protsessami*] *Bioindication and biomonitoring [Bioindikatsiya i biomonitoring]*. Moscow: Nauka, 1991:139-149.
110. Suslova EG. Current state and trends in the development of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *Dynamics of biota in ecosystems of the central forest-steppe [Dinamika bioty v ekosistemakh tsentral'noy lesostepi]*. Moscow: RAS, 1986:43-53.
111. Suslova EG. Structure and genesis of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Struktura i genезis dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *Ecological-coenotic and geographical features of vegetation [Ekologo-tsenoticheskiye i geograficheskiye osobennosti rastitel'nosti]*. Moscow: Nauka, 1983:202-210.
112. Ogureeva GN, Slutskova EA, Suslova EG, Nikolaeva ON. Vegetation of the Satinsky training ground, Ch. 4 [*Rastitel'nost' Satinskogo uchebnogo poligona*] *Integrated geographical practice in the Moscow region [Kompleksnaya*

- практика в Подмосковье. М.: Географический факультет МГУ. С. 120-153.
113. **Суслова Е.Г. 1979.** Особенности травяного покрова полян в дубравах Центрально-Черноземного заповедника в зависимости от их происхождения и хозяйственного использования // Сб. География и практика народного хозяйства. М.: Географический факультет МГУ. С. 89-94.
114. **Суслова Е.Г., Николаева О.А. 1979.** Распределение растительных сообществ по элементам мезорельефа в Центрально-Черноземном заповеднике // Сб. География и рациональное природопользование. М.: Географический факультет МГУ. С. 81-84.
115. **Суслова Е.Г. 1979.** Структура дубрав Центрально-Черноземного заповедника // Сб. Значение биогеографии для мелиорации. М.: Московский филиал ГО СССР. С. 109-117.
116. **Таскаева Н.Я., Суслова Е.Г. 1977.** Дополнение к флоре Сатинского учебного полигона // Сб. Материалы географических исследований Сатинского учебного полигона и смежных территорий в бассейне Ср. Протвы (депонировано ВИНТИ, № 4550-77). М.: ВИНТИ. Т. 3. С. 123-131.
117. **Максимова В.Ф., Суслова Е.Г. 1977.** Закономерности формирования надземной фитомассы травяно-кустарничкового и травяного ярусов в лесах СССР // Сб. Биогеографические и индикационные исследования: доклады Московского филиала ГО. М. С. 29-32.
118. **Суслова Е.Г. 1977.** Основные закономерности распределения растительных сообществ Сатинского учебного полигона и их *geograficheskaya praktika v Podmoskov'ye]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 1980:120-153.*
113. Suslova EG. Features of the grass cover of meadows in the oak forests of the Central Chernozem Reserve, depending on their origin and economic use [*Osobennosti travyanogo pokrova polyan v dubravakh Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika v zavisimosti ot ikh proiskhozhdeniya i khozyaystvennogo ispol'zovaniya*] *Geography and practice of the national economy [Geografiya i praktika narodnogo khozyaystva]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 1979:89-94.*
114. Suslova EG, Nikolaeva OA. Distribution of plant communities by mesorelief elements in the Central Chernozem Reserve [*Raspredeleniye rastitel'nykh soobshchestv po elementam mezorel'yefa v Tsentral'no-Chernozemnom zapovednike*] *Geography and rational nature management [Geografiya i ratsional'noye prirodopol'zovaniye]. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 1979:81-84.*
115. Suslova EG. The structure of oak forests of the Central Chernozem Reserve [*Struktura dubrav Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika*] *The value of biogeography for land reclamation [Znachenkiye biogeografii dlya melioratsii]. Moscow: Moskovskiy filial GO SSSR, 1979:109-117.*
116. Taskaeva NYa, Suslova EG. Addition to the flora of the Satinsky training ground [*Dopolneniye k flore Satinskogo uchebnogo poligona*] *Proc. of geographical studies of the Satinsky training ground and adjacent territories in the basin of Sr. Protva (deposited by VINITI, No. 4550-77) [Materialy geograficheskikh issledovaniy Satinskogo uchebnogo poligona i smezhnykh territoriy v basseyne Sr. Protvy]. Moscow: VINITI, 1977:3:123-131.*
117. Maksimova VF, Suslova EG. Patterns of the formation of the aboveground phytomass of grass-shrub and grass layers in the forests of the USSR [*Zakonomernosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy travyano-kustarnichkovogo i travyanogo yarusov v lesakh SSSR*] *Biogeographical and indicator studies: reports of the Moscow branch of GO [Biogeograficheskiye i indikatsionnyye issledovaniya: doklady Moskovskogo filiala GO].*

эколого-фитоценотический анализ // Сб. Материалы географических исследований Сатинского учебного полигона и смежных территорий в бассейне Ср. Протвы (депонировано ВИНТИ, № 4550-77). М.: ВИНТИ. Т. 3. С. 100-122.

Moscow, 1977:29-32.
118. Suslova EG. Basic regularities in the distribution of plant communities of the Satinsky training ground and their ecological and phytocenotic analysis [Osnovnyye zakonomernosti raspredeleniya rastitel'nykh soobshchestv Satinskogo uchebnogo poligona i ikh ekologo-fitotsenoticheskiy analiz] *Proc. of geographical studies of the Satinsky training ground and adjacent territories in the basin of Sr. Protva* (deposited by VINITI, No. 4550-77) [*Materialy geograficheskikh issledovaniy Satinskogo uchebnogo poligona i svezhnykh territoriy v basseyne Sr. Protvy*]. Moscow: VINITI, 1977;3:100-122.

UDC 581.5; 581.6; 581.9

**SCIENTIFIC AND CREATIVE PATH OF ELENA GERMANOVNA SUSLOVA
(17.01.1952-18.04.2023)**

© 2023. T.V. Dikareva

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography
Russia, 119992, Moscow, Leninskie Gory, 1. E-mail: tvdikareva@yandex.ru*

Received May 02, 2023. Revised May 15, 2023. Accepted May 30, 2023.

The article is devoted to the scientific and life path of the Associate Professor of the Department of Biogeography of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov Elena Germanovna Suslova. The whole life of Elena Germanovna is connected with the department. She graduated from the department in 1974 and stayed there to work – first as an assistant, then, for many years, as an assistant professor. In 1996 she defended her PhD thesis. For many years of work at the department, Elena Germanovna brought up several generations of biogeographers, conducting classes at the department, in the Museum of Earth Science. She paid much attention to practices: she was engaged in the development of practices in Satino, conducted long-distance practices in many regions of Russia, and developed methodological manuals. Elena Germanovna was a brilliant connoisseur of the flora of European Russia and the Caucasus, and her contribution to the study and protection of rare plants cannot be overestimated. For many years, Elena Germanovna collaborated with the Verkhovye Nature Protection Fund in the field of monitoring rare plant species in the Moscow Region and creating specially protected natural areas. She made a huge contribution to the creation of the Red Book of the Moscow Region. Elena Germanovna was an outstanding teacher who trained many highly qualified specialists.

Keywords: Elena Germanovna Suslova, connoisseur of flora, teacher, protection of rare plant species.

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-191-249

EDN: C1CDQE