



Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды

Материалы Всероссийской научной
конференции молодых учёных
25–27 апреля

Пермь, 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

*Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых,
посвященной памяти Г.А. Воронова,
Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка
(25-27 апреля 2024 года, г. Пермь)*



Пермь 2024

УДК 504.05: 574

ББК 20.18

Э40

Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформация природной среды [Электронный ресурс] : сборник материалов всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Г. А. Воронова, Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка (25-27 апреля 2024 г.) / под ред. С. А. Бузмакова, Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2024. – 16,5 Мб ; 615 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/Ekologicheskaya-Bezopasnost-V-Usloviyah-Antropogennoj-Transformacii-Prirodnoj-Sredy-2024.pdf>.

ISBN 978-5-7944-4114-7

Сборник содержит материалы всероссийской научной конференции молодых ученых «Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды», организованной в Пермском государственном национальном исследовательском университете кафедрой биогеоценологии и охраны природы, Пермским краевым отделением Русского географического общества и государственным природным заповедником «Басеги». Представлены материалы докладов исследователей в области экологической безопасности в условиях антропогенной трансформации природной среды. Рассматриваются проблемы сохранения природных комплексов, техногенной трансформации и восстановления природно-технических систем и природно-антропогенных объектов. Издание предназначено для геоэкологов, биогеоценологов, природопользователей, географов, биологов, специалистов в области экологической безопасности, охраны природы, преподавателей высшей школы, аспирантов и студентов географических, биологических и геологических направлений.

УДК 504.05: 574

ББК 20.18

Издается по решению оргкомитета конференции

Главный редактор: проф., д-р геогр. наук **С. А. Бузмаков**

Технический секретарь: **С. Д. Мельникова**

Рецензенты: профессор кафедры рационального природопользования Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, д-р биол. наук, профессор **Е. И. Голубева**;

декан геолого-географического факультета Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева, д-р геогр. наук, профессор **А. Н. Бармин**.

ISBN 978-5-7944-4114-7

© ПГНИУ, 2024

UDC 504.05: 574
BBC 20.18
E40

Environmental safety in conditions of anthropogenic transformation of the natural environment [Electronic resource]: collection of materials of the All-Russian scientific conference of young scientists dedicated to the memory of G.A. Voronov, N.F. Reimers and F.R. Shtilmark (April 25-27, 2024) / edited by S.A. Buzmakov, Perm State National Research University. – Electronic data. – Perm, 2024. – 16,5 Mb ; 615 p. – Access mode: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/Ekologicheskaya-Bezopasnost-V-USloviyah-Antropogennoj-Transformacii-Prirodnoj-Sredy-2024.pdf>.

ISBN 978-5-7944-4114-7

The collection contains materials of the All-Russian scientific conference of young scientists "Environmental safety in conditions of anthropogenic transformation of the natural environment", organized at the Perm State National Research University by the Department of Biogeocenology and Nature Conservation, the Perm Regional Branch of the Russian Geographical Society and the Basegi State Nature Reserve. The materials of the reports of researchers in the field of environmental safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment are presented. The problems of conservation of natural complexes, man-made transformation and restoration of natural and technical systems and natural and anthropogenic objects are considered. The publication is intended for geocologists, biogeocenologists, nature users, geographers, biologists, specialists in the field of environmental safety, nature protection, teachers of higher education, graduate students and students of geographical, biological and geological fields.

It is published by the decision of the organizing committee of the conference

Editor-in-chief: Professor, Doctor of Geographical Sciences **S.A. Buzmakov**
Technical Secretary: **S.D. Melnikova**

Reviewers: Dr. of Biological Sciences, Professor **E.I. Golubeva** (Lomonosov Moscow State University);
Doctor of Geographical Sciences, Professor **A.N. Barmin** (Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev)

ISBN 978-5-7944-4114-7

© Perm State University, 2024

ИЗМЕНЕНИЕ ДЕНДРОИНДИКАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В РЕГИОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АО «КАРЕЛЬСКИЙ ОКАТЫШ»

А.Р. Никулина, М.Г. Опекунова
Санкт-Петербургский государственный университет,
199178, г. Санкт-Петербург, 10-я линия ВО, 31/33,
e-mail: anna.2001-nik@mail.ru

В статье представлены результаты геоэкологических исследований на территории АО «Карельский окатыш» и в Костомукшском заповеднике. Изучено изменение радиальных приростов и химического состава древесины *Pinus sylvestris* L. под воздействием горнорудного производства. Ингибирования приростов годичных колец при загрязнении окружающей среды не выявлено, однако на отдельных площадках индексы прироста уменьшаются в 1,5–4 раза по сравнению с фоном. Показана неравномерность распределения металлов, особенно Cd, Cu, Pb, Sr, в древесине сосны. Значительная вариабельность содержаний металлов в годичных кольцах разных лет обусловлена как метеорологическими характеристиками, соотношением тепла и влаги, содержанием подвижных форм металлов в почвах в разные годы, так и радиальным перемещением элементов с водными растворами в древесине. В условиях аэротехногенного загрязнения в древесине на территории комбината возрастают концентрации V, Fe, Cr, Sr, Ni, Zn, Cu в 1,5–8,6 раза по сравнению с фоновыми показателями в заповеднике. Ключевые слова: радиальный прирост; древесина; дендрохронология; годичные кольца; тяжелые металлы; экологический мониторинг; растения

TRANSFORMATION OF DENDROINDICATIONAL PARAMETERS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE REGION OF IMPACT OF THE KARELSKIY OKATYSH

A.R. Nikulina, M.G. Opekunova
St. Petersburg State University,
199178, St. Petersburg, 10th line VO, 31/33,
e-mail: anna.2001-nik@mail.ru

The article presents the results of environmental monitoring on the territory of the Karelskiy Okatysh and in the Kostomuksha Nature Reserve. The changes of radial growth and chemical composition of *Pinus sylvestris* L. wood under the influence of mining have been studied. There was no inhibition of growth of annual rings under the influence of environmental pollution, although at some sites the growth indices decrease by 1.5 – 4 times compared with the background. The uneven distribution of metals, especially Cd, Cu, Pb, Sr, in pine wood is shown. The significant variability of metal contents in annual rings of different years is due to both meteorological characteristics, the ratio of heat and moisture, the content of mobile forms of metals in soils in different years, and the radial movement of elements with water solutions in wood. Under conditions of air pollution, concentrations of V, Fe, Cr, Sr, Ni, Zn, Cu increase in wood on the territory of the plant by 1.5–8.6 times compared with background values in the reserve. Keywords: radial growth; wood; dendrochronology; annual rings; heavy metals; environmental monitoring; plants

Для целей экологического мониторинга эффективным представляется сопряженный анализ биоиндикационных признаков на различных уровнях. Надежные сведения об источнике загрязнения в окружающей среде могут быть получены при комбинировании дендрохронологических и дендрохимических методов [6].

В июне 2023 г. проведены геоэкологические исследования в регионе присутствия АО «Карельский окатыш». За фон приняты природно-территориальные комплексы Костомукшского заповедника. Всего на 27 станциях мониторинга (СМ) отобрано 69 древесных кернов

Pinus sylvestris L., соответствующих 138 древесным радиусам [2]. В качестве базовых метеорологических параметров использованы данные со станции Реболы (63°49' с.ш. 30°49' в.д.), респ. Карелия [8]. Валовое содержание химических элементов в древесине (ХЭ: Ва, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Fe, V, K, Sr) определено методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе «ICPE-9000 Shimadzu» в Ресурсном центре «Методы анализа состава вещества» СПбГУ, аналитик В.Н. Григорьян. Пробоподготовка [7] осуществлена в Учебной лаборатории физико-химического анализа СПбГУ. Многомерный статистический анализ на основе факторного анализа методом главных компонент (ФА МГК) выполнен в программе «Statistica».

В целом, не выявлено однозначного уменьшения индексов радиального прироста сосны на контрольных СМ по сравнению с фоном. Такая тенденция зафиксирована на одной СМ на территории комбината, где индексы радиального прироста после 1978 г. уменьшаются в 2,6 раза по сравнению с фоном. Необходимо подчеркнуть, что мы не фиксируем падение прироста именно для относительных значений, в то время как прирост, выражаемый в миллиметрах для деревьев в возрасте 50 лет и старше снижается на территории комбината в 1,5 – 4,0 раза.

Древесина характеризуется наименьшими концентрациями химических элементов среди всех органов растений [5], её зольность в регионе присутствия АО «Карельский окатыш» < 1% (табл. 1). Содержание минеральных веществ в годичных кольцах, начиная с 1978 г., на контрольных СМ выше в 1,4 раза по сравнению с фоновыми СМ. В то же время зольность в период до начала строительства комбината (0,23%) и после (0,24 %) сопоставима.

Таблица 1. Статистические характеристики содержания металлов в древесине *Pinus sylvestris*

СМ, годы	Параметр	Концентрации ХЭ, мг/кг												
		Va	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn	
Фоновые СМ	1888–1977	среднее	21	0,15	0,49	2,9	12,2	234	21	0,58	0,18	3,7	0,01	8,1
		мин	1,7	0,09	0,22	0,79	7,3	162	11,9	0,29	0,04	1,3	0,01	5,8
		макс	53	0,26	1,21	7,2	21	351	33	1,1	0,43	11,3	0,02	13,0
		станд. отклонение	14,5	0,06	0,33	2,3	4,0	58	7,6	0,22	0,14	2,6	0,003	2,1
		коэф. вариации	0,70	0,37	0,67	0,79	0,33	0,25	0,37	0,38	0,76	0,71	0,49	0,26
	1978–2023	среднее	27	0,09	0,47	2,9	14,7	258	16,8	0,61	0,19	2,8	0,01	6,8
		мин	8,8	0,01	0,20	0,72	5,8	186	12,3	0,41	0,05	1,2	0,01	5,0
		макс	37	0,16	0,63	7,7	24	318	23	0,87	0,52	3,7	0,01	8,4
		станд. отклонение	9,4	0,04	0,11	2,7	5,2	40	3,1	0,15	0,16	0,72	0,001	1,3
		коэф. вариации	0,35	0,41	0,23	0,92	0,36	0,16	0,19	0,24	0,81	0,26	0,17	0,18
Контрольные СМ	1751–1977	среднее	33	0,10	0,50	3,6	14,2	226	19,2	0,59	0,54	2,6	0,01	7,5
		мин	2,9	0,01	0,22	0,54	5,2	123	13,2	0,23	0,04	1,5	0,01	5,1
		макс	39	0,18	1,54	28	83	420	23	3,6	0,68	15,9	0,07	16,9
		станд. отклонение	24	0,05	0,16	3,6	8,5	57	5,0	0,31	0,96	0,97	0,01	1,5
		коэф. вариации	0,71	0,48	0,32	1,0	0,59	0,25	0,26	0,53	1,8	0,37	0,86	0,20
	1978–2023	среднее	21	0,04	0,85	5,6	27	331	15,5	1,0	0,23	3,8	0,03	8,2
		мин	6,2	0,01	0,53	0,72	11,3	284	2,3	0,46	0,05	0,99	0,01	5,5
		макс	89	0,25	0,82	13,7	46	457	33	1,6	5,0	6,6	0,04	10,4
		станд. отклонение	10,7	0,05	0,34	7,5	17,5	42	6,8	0,82	0,24	3,9	0,02	3,0
		коэф. вариации	0,51	1,37	0,40	1,35	0,64	0,13	0,44	0,79	1,01	1,03	0,70	0,36

Обнаруживается сложность использования дендрохимических методов для индикации состояния окружающей среды за длительный период времени, поскольку элементы распределены в стволе неравномерно, постоянно перемещаются в древесине с током воды в зависимости от биологических процессов (метаболизма) и внешних (эдафо-климатических, антропогенных) факторов [3]. Около 10% клеток в периферийной древесине являются живыми, химический состав древесины нельзя считать консервативной системой [5].

Значительные флуктуации концентраций ХЭ отмечаются в кольцах разных лет на разных СМ. Об этом свидетельствуют высокие показатели коэффициентов вариации (V). Наибольшей изменчивости подвержены концентрации Cd (V до 1,37), Cu (V до 1,35), Pb (V до 1,01), Sr (V до 1,03). Для Ba, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb не выявлено закономерностей увеличения концентраций ближе к сердцевине или коре дерева. Пики содержаний приходятся на разные годы; выраженной тенденции накопления в радиальном отношении не наблюдается. Для Cd и Sr показана слабовыраженная тенденция увеличения концентраций при приближении к сердцевине ствола – в 1,5–13 и 1,5–5,4 раз соответственно, что может свидетельствовать о загрязнении среды и ограниченной возможности дерева к выведению излишнего количества Cd и Sr в корку. При достаточно высокой степени загрязнения дерево может не успевать избавляться от излишков Cd и Sr, они будут накапливаться в древесине последних лет. Например, в 100 м от цеха крупного дробления концентрация Sr за 1978–2023 гг. выше содержаний 1908–1977 в 1,6 раза; в непосредственной близости от производственных цехов – в 2,3 раза. На СМ в 50 м от сброса воды из отстойников концентрация Sr в кольцах за 1998–2023 гг. в 5,3 раза превышает показатели 1978–1997 гг. В 70 м от трассы пульповода концентрация Sr в кольцах 2008–2023 гг. выше в 3,3 раза, чем в кольцах 1988–2007 гг.

При сравнении концентраций ХЭ на контрольных СМ на территории комбината с фоном показано увеличение содержаний Ni (в 1,5–6,0 раз), Zn (1,6–2,5), Cu (9,5), Fe (1,7–5,6), Cr (1,5–3,3), Sr (2,9–5,6), V (1,9–8,6) в кольцах за 1978–2023 гг. Это объясняется возрастанием поступлений металлов в почву при добыче и переработке железной руды, а также аэротехногенным загрязнением, которое накладывается на естественные факторы, связанные с высокой обогащенностью почв данными ХЭ.

На контрольных СМ до начала строительства комбината химический состав горных пород в наибольшей степени влияет на состав древесины. Парагенезис $Sr_{94}Ba_{93}K_{91}Cr_{44}$ с весом фактора 28,1% характеризует проявления кислых и щелочных горных пород. Естественная геохимическая аномалия района исследований проявляется в первую очередь в высоких концентрациях V, Mn, Fe, Cr (вес фактора 23,3%): $V_{89}Mn_{82}Fe_{64}Cr_{44}$. Сопутствующие металлы представлены Pb, Cd, Cr (19,5% дисперсии): $\frac{Pb_{97}Cd_{93}}{Cr_{38}}$. В отдельную группу выделены фемафильные ХЭ (18,3%): $Ni_{90}Zn_{83}Cr_{38}$. На контрольных СМ с 1978 г. на 37,3% химический состав древесины обусловлен аэротехногенным загрязнением при добыче и переработке железной руды: $Zn_{92}Fe_{91}Cu_{90}Ni_{89}V_{64}Pb_{58}Cr_{56}$. В наибольшей степени данный фактор проявляется на СМ в 100 м от цеха крупного дробления, где наблюдается запыление почвенного покрова и растений пульпой. Второй и третий факторы отражают смену основных горных пород (32,8% дисперсии: $Cd_{98}Mn_{92}Cr_{76}V_{73}$) кислыми ($Ba_{99}K_{98}Sr_{84}$, вес фактора – 24,8%) и проявляются с противоположным знаком нагрузок на исследованных СМ.

Сопоставление климатических параметров с концентрациями ХЭ в древесине на фоновых СМ (для всех: $r_{крит.} = 0,42$ при $p = 0,05$) указывает на возрастание содержаний K в годы с высокими температурами января, февраля, апреля, мая (r от 0,45 до 0,67) при уменьшении количества осадков в марте, апреле, июне (r от -0,48 до -0,67). Вероятно, теплая сухая первая

половина года способствует активным поступлениям К в древесину. Калий поддерживает водный баланс в клетке, участвует в активном транспорте ассимилятов к органам запаса. Максимумы содержаний Cd и Zn приходятся на холодные и сухие годы. Ведущую роль для Cd играют температуры мая, июня, июля и сентября (r от -0,46 до -0,53), осадки января – марта, мая, июля (r от -0,44 до -0,59), среднегодовая температура ($r = -0,56$), сумма осадков за год ($r = -0,47$). Для Zn лимитирующими факторами выступают температура августа ($r = -0,46$) и сентября ($r = -0,60$), осадки января ($r = -0,49$) и февраля ($r = -0,50$), среднегодовая температура ($r = -0,57$) и количество осадков за год ($r = -0,43$). Во влажных почвах с низким содержанием органического вещества снижается доступность Zn для растений. При небольшом количестве осадков, напротив, Zn активно концентрируется в древесине. Повышенные концентрации Cd могут индуцировать нарушение проницаемости мембран, водного и энергетического обмена, указывать на симптомы окислительного стресса у растений: аккумуляцию пероксидов липидов, ингибирование активности антиоксидантных ферментов, снижение концентрации глутатиона [1]. В годы с неблагоприятными метеорологическими условиями описываемые симптомы проявляются более явно за счет ослабления деревьев.

На контрольных СМ (для всех: $r_{\text{крит.}} = 0,51$ при $p = 0,05$) после начала строительства комбината (1978 г.) отмечено увеличение концентраций Cr в древесине в годы с низкой температурой января – мая (r от -0,56 до -0,70) и более высокой температурой в июне – сентябре ($r = 0,56–0,71$). Рост количества осадков в январе–августе ($r = 0,59–0,74$) способствовал увеличению содержаний Cr в древесине. Концентрации Cr в древесине в тёплые ($r = 0,70$) и влажные ($r = 0,72$) годы выше, чем в холодные и сухие. Увеличение его концентраций в древесине, по видимому, связано с возрастанием доли подвижных форм ХЭ в почвах в теплые и влажные периоды. С другой стороны, на фоне общей ослабленности деревьев в годы с холодной зимой и весной, а также загрязнения окружающей среды, фиксируется ингибирование радиального прироста повышенным содержанием Cr, что может быть связано с повреждением ДНК, белков, окислением липидов, снижением активности ферментов [1-3].

С 1978 г. описанный сигнал не выражен. Показана корреляция содержаний К и Mn в древесине с климатическими характеристиками (для всех: $r_{\text{крит.}} = 0,53$ при $p = 0,05$). Вероятно, наблюдаемая тенденция проявляется за счет возрастания ежегодного объема поступления К и Mn в окружающую среду при разработке месторождения и, как следствие, увеличения валового содержания металлов в почвах, а далее, при оптимальной температуре воздуха и количестве осадков – увеличивается доля подвижных форм в почве и элементы активно поглощаются *P. sylvestris*. Увеличение концентраций К приходится на годы с более высокими температурами февраля, мая, июня и августа (r от 0,54 до 0,72) и более высокой среднегодовой температурой ($r = 0,61$), а также меньшим количеством осадков июня ($r = -0,58$) и сентября ($r = -0,70$). При избыточном увлажнении подвижность металлов снижается за счет формирования анаэробных условий в почвах, снижения активности микроорганизмов [4].

Факторный анализ методом главных компонент указывает на ведущую роль геологического строения территории и химического состава почвы в распределении ХЭ в древесине. На фоновых СМ превалирует фактор дифференциации металлов на фемафильные (Cu, Mn) и фельсифильные (Ba, K) с весом 55,0%: $\frac{Ba_{95}K_{91}Pb_{91}}{Sr_{97}Cu_{93}Ni_{91}Mn_{53}}$. На 23,8% дисперсия определяется рудным фактором, положительные факторные нагрузки имеют Fe и сопутствующие металлы: $V_{93}Fe_{91}Cr_{73}Mn_{41}$. Третий фактор (19,0%) отражает закрепление Cd, Zn, Mn органическим веществом на геохимическом барьере в иллювиальных фациях и дальнейшее поглощение расте-

ниями: $Cd_{94}Zn_{84}Mn_{66}$. Его максимальные проявления зафиксированы на олиготрофном кустарничково-сфагновом болоте с редкостойной сосной. Проявление фактора в трансэлювиальных и элювиальных фациях минимально.

Таким образом, отмечена неравномерность распределения химических элементов в древесных кольцах, что связано с радиальным перераспределением при проведении воды. Отмечено увеличение содержаний в древесине в теплые и влажные годы Cr, в теплые и сухие – K, в холодные и влажные – Mn. Ключевую роль играет температура в течение периода формирования годичных колец (июнь – август; частично сентябрь для поздней древесины) и, соответственно связь температуры этих месяцев с концентрациями ХЭ – повышенными концентрациями одних элементов (K) на фоне оптимальной влажности почвы, высокой её биологической активности, высоких содержаний подвижных форм ХЭ в почвах (при благоприятных метеоусловиях) или, напротив, возрастания концентраций других ХЭ (Cd, Zn) на фоне общего ослабления деревьев в годы с низкими температурами и избытком / недостатком осадков. В условиях аэротехногенного загрязнения фиксируется увеличение концентраций V, Fe, Cr, Sr, Ni, Zn, Cu в 1,5–8,6 раз относительно фона.

Работа выполнена в рамках НИР № 01/1-55-69-СПбГУ «Мониторинг и сохранение биоразнообразия растительности в регионе присутствия АО «Карельский окатыш».

Список литературы

1. Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений: учебник. 2-е изд. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2020. 540 с.
2. Ваганов Е.А., Круглов В.Б., Васильев В.Г. Дендрохронология: учебное пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2008. 120 с.
3. Видус В.Е., Фертиков А.И., Шарафутдинов Р.А., Гавриков В.Л. Вариабельность содержания химических элементов в стволах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Интеграция науки и образования: современные проблемы, достижения и инновации в области экологии и устойчивого развития: материалы научной конференции; электронное издание, Красноярск, 01–03 ноября 2022 года / Сибирский федеральный университет. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. С. 28–33.
4. Водяницкий Ю.Н., Смагин А.В., Яковлев А.С. Факторы изменчивости содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2016. Т. 12, № 1. С. 27–38.
5. Килюшева Н.В., Феклистов П.А., Ежова Н.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю. Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2017. № 5 (359). С. 64–72. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.5.64>
6. Миронова А.С., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Годовые кольца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – индикатор геохимической обстановки и хронологического изменения химического элементного состава окружающей среды // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 1. С. 106–116. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/1/2452>
7. Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю., Шейнерман Н.А. Методы физико-химического анализа почв и растений: Метод. указания. СПб.: Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 2015. 86 с.
8. Специализированные массивы для климатических исследований. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 20.10.23).

Научное издание

**Экологическая безопасность
в условиях антропогенной трансформации природной среды**

Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых,
посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка

(г. Пермь, ПГНИУ, 25–27 апреля 2024 года)

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка: *С. Д. Мельникова*

Объем данных 16,5 Мб
Подписано к использованию 27.04.2024

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности
Пермского государственного национального
исследовательского университета
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15