

УДК 543.054

DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0029

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  
НА КОНЦЕНТРАЦИЮ РТУТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

© Автор(ы) 2021

SPIN: 2705-2793

AuthorID: 708430

ORCID: 0000-0003-4119-8888

**НОВОСЕЛОВА Елена Александровна**, кандидат технических наук, руководитель проекта

*АО НДЦ НПФ «Русская лаборатория»*

*(197229, Россия, г. Санкт-Петербург, тер. Ольгино, ул. Вокзальная, д. 2, корп. 3, стр. 1,*

*e-mail: novoselova-1989@mail.ru)*

SPIN: 1353-8309

AuthorID: 970943

ORCID: 0000-0001-6319-5413

**СКРИПНИК Игорь Леонидович**, кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России*

*(196605, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, e-mail: ig.skripnik2011@yandex.ru)*

SPIN: 7495-6349

AuthorID: 426114

ORCID: 0000-0001-7912-8864

**САВЕЛЬЕВ Дмитрий Вячеславович**, кандидат военных наук, доцент

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России*

*(196605, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149, e-mail: savelev.d@igps.ru)*

SPIN: 9801-3490

AuthorID: 704170

ORCID: 0000-0002-7423-4892

**КАВЕРЗНЕВА Татьяна Тимофеевна**, кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, e-mail: kaverzt@mail.ru)*

**Аннотация.** Одним из основных направлений современности является задача обеспечения населения здоровым питанием, которое неотрывно связано с защитой окружающей среды от антропогенных веществ, получаемых и выделяемых в новых технологических процессах, производствах, материалах, способах их обработки, в том числе ртути. Метод биоиндикации содержания ртути в окружающей среде является перспективным направлением при решении актуальных задач по выявлению загрязнения почв ртутью в результате, например, различных аварийных и чрезвычайных ситуаций, с последующим восстановлением почв для сельскохозяйственных нужд. Установлено, что внешние воздействия могут существенно влиять на жизненный цикл овса, в том числе на его всхожесть и прорастание. В рамках исследования разработан метод биоиндикации, основанный на оценке всхожести овса в присутствии токсиканта – ртути. Для этого была проведена исследовательская работа, заключающаяся в проведении серии экспериментов по выявлению возможности прорастания корневой системы, ростков, загрязненных разной концентрацией ртути после чрезвычайных ситуаций (ЧС) путем ее засева овсом, являющимся одним из распространенных удобрений, в ограниченном температурном диапазоне, с целью оценки способности рекультивации почв, активизации микрофлоры, взаимодействию почвы с погодными условиями, ускорению разрушения токсиканта. Показано, что ростки являются более чувствительной частью выбранного биоиндикатора по сравнению с корневой системой, при оптимальной температуре плюс 23°C, незначительных концентрациях ртути 0,025 г/л, всхожесть такая же как и у тестового образца, при этом можем принять, что данная концентрация соответствует невидимому ртутному загрязнению почвы (микрокаплям).

**Ключевые слова:** биоиндикация, ртуть, овес, ростки, проращивание, хлорид ртути, токсикант, влияние температуры, загрязнение, тестовый образец.

**APPLICATION OF THE BIOINDICATION METHOD IN DETERMINING THE EFFECT OF  
TEMPERATURE ON MERCURY CONCENTRATION IN EMERGENCY SITUATIONS**

© The Author(s) 2021

**NOVOSELOVA Elena Alexandrovna**, candidate of technical sciences, project manager

*RUSSIAN LABORATORI Ltd.*

*(197229, Russia, St. Petersburg, ter. Olgino, st. Vokzalnaya, 2, bldg. 3, bldg. 1, e-mail: novoselova-1989@mail.ru)*

**SKRIPNIK Igor Leonidovich**, candidate of technical sciences, associate professor

**SAVELYEV Dmitry Vyacheslavovich**, candidate of military sciences, associate professor

*St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia*

*(196605, Russia, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149, e-mails: savelev.d@igps.ru, ig.scripnick2011@yandex.ru)*

**KAVERZNEVA Tatyana Timofeevna**, candidate of technical sciences, associate professor

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

*(195251, Russia., Saint Petersburg, Polytechnicheskaya St, 29, e-mail: kaverzt@mail.ru)*

**Abstract.** One of the main directions of our time is the task of providing the population with a healthy diet, which is inextricably linked with the protection of the environment from anthropogenic substances obtained and released in new technological processes, industries, materials, methods of their processing, including mercury. The method of bioindication of mercury content in the environment is a promising direction in solving urgent problems of identifying soil contamination with mercury as a result, for example, of various accidents and emergencies, followed by soil restoration for agricultural needs. It has been established that external influences can significantly affect the life cycle of oats, including its germination and germination. As part of the study, a bioindication method was developed based on the assessment of the germination of oats in the presence of a toxicant, mercury. For this, research work was carried out, which consisted in conducting a series of experiments to identify the possibility of germination of the root system, sprouts contaminated with different concentrations of mercury after emergencies (ES) by sowing it with oats, which is one of the common fertilizers, in a limited temperature range, in order to assess the ability of soil reclamation, activation of microflora, interaction of soil with weather conditions, acceleration of the destruction of the toxicant. It is shown that the sprouts are a more sensitive part of the selected bioindicator compared to the root system, at the optimum temperature of plus 23°C, low mercury concentrations of 0.025 g/l, the germination is the same as that of the test sample, while we can assume that this concentration corresponds to the invisible mercury contamination of the soil (microdroplets).

**Keywords:** bioindication, mercury, oats, sprouts, germination, mercury chloride, toxicant, temperature effect, contamination, test sample.

*Для цитирования:* Новоселова Е.А. Применение метода биоиндикации при определении влияния температуры на концентрацию ртути в чрезвычайных ситуациях / Е.А. Новоселова, И.Л. Скрипник, Д.В. Савельев, Т.Т. Каверзнева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 2(58). – С. 164-168. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0029.

**Введение.** Одной из проблем современности – это загрязнение окружающей среды ртутью, относящейся к наиболее токсичным металлам, содержание которых строго нормируется. Например, при неправильной утилизации люминесцентных ламп и в случае их повреждения происходит испарение ртути и загрязнения окружающей среды, поскольку каждая из ламп содержит до 0,2 г жидкой ртути. Известны случаи, когда лампы выбрасывались в обычные мусорные контейнеры, тем самым нанося вред здоровью людей [1-3].

Также, источником ртути являются системы удаления ртути из осушенного газа заводов сжиженного природного газа России. После осушки газ направляется в систему удаления ртути, состоящую из адсорбера, заполненного слоем адсорбента и фильтра вторичной очистки. После насыщения ртутью слой адсорбента подлежит утилизации и замене. Техногенные аварии на производстве могут привести к разгерметизации адсорберов и попаданию ртути в почву, что в свою очередь при больших объемах ртути может привести к ЧС.

Ртуть при попадании в почву может дробиться на микрокапли невидимые невооруженным глазом, что в свою очередь делает невозможным ее обнаружение и 100%-ое удаление. При изменении внешних условий микрокапли ртути испаряются с высокой скоростью, насыщая и отравляя своими парами атмосферный воздух.

В данном случае необходим эффективный ме-

тод обнаружения ртути в почве, который бы являлся одновременно с этим биологическим методом демеркуризации и рекультивации почвы [4, 5], что предотвратило бы попадание в пищу людей отравленных веществ. Это позволит в будущем на «оздоровленной» почве проводить посев различных культур и выращивать необходимые для нужд людей продукты народного хозяйства.

При переносе производственных площадей за городскую черту необходимо обеспечивать контроль содержания в почве вредных веществ, которые попадают туда из-за тех или иных производственных процессов, проводимых на заводах, и последствий разрушения зданий и сооружений, где эти процессы осуществлялись [6]. Загрязнение почвы ртутью также особенно опасно в связи с высоким классом опасности/вредности ртути и тяжелым весом ртути, в связи с чем ртуть сложно извлечь из пластов земли [7]. Иногда приходится снимать грунт для обеспечения безвредности использования земель.

В связи с актуальностью в текущее время проблемы загрязнения ртутью окружающей среды разработана методика [6] оценки влияния солей ртути на проращивания овса как метода биоиндикации. На выбор в качестве эксперимента овса повлиял тот факт, что он является одним из немногих зеленых удобрений, в состав которого входит много полезных веществ для плодородности земли, обогащающих грунт азотом и способствующих загниванию сорняков, витамины и микроэлементы которого, разлагаясь в почве, ста-

новятся качественным строительным материалом для развития других овощных культур.

Интерес к данной проблеме обусловлен как с научной, так и с прикладной стороны прогнозированием данных прорастания овса с токсикантом, полученных в лабораторных условиях на прорастание семян при обычных (домашних) условиях и дальнейшее их применение на другие культовые продукты. В связи с возникшей проблемой, для экспериментов используется водный растворов  $HgCl_2$ .

**Целью** работы является установление зависимости всхожести семян овса при различных температурах в условиях присутствия токсиканта – ртути.

**Методология.** Основывалась на: теории проведения экспериментальных исследований, с заданными параметрами вещества в описываемых условиях, в выбранном промежутке оценивания экспериментов; с использованием сертифицированных измерительных приборов; обработке полученных результатов в виде таблицы, рисунка.

Проращивание семян овса проводилось при следующих условиях:

- в воде (без загрязнения, тестовый образец) при:  
 – добавлении раствора  $HgCl_2$  ( $C=2,500$  г/л);

- добавлении  $HgCl_2$ , ( $C=0,250$  г/л);
- 100% разбавлении  $HgCl_2$ ; ( $C=0,025$  г/л);
- добавлении  $NaCl$ , ( $C=0,764$  г/л);
- 10% перемешивании  $NaCl$ , ( $C=0,076$  г/л);
- 100% перемешивании  $NaCl$ , ( $C=0,007$  г/л).

Проращивание овса проведено в закрытом малоосвещенном помещении в термостате со средней температурой 10°C, 23°C, 30°C (точность регулирования температуры 0,5°C) и влажностью 80% [8-11]. Первый эксперимент, для перечисленных выше семи условий, был проведен при комнатной температуре плюс 23°C, с оценкой количества взошедших семян и развитости корневой системы по ее длине в мм, на третьи и пятые сутки наблюдений. Второй и третий эксперименты выполнялся при тех же исходных данных только при температуре равной плюс 10°C и плюс 30°C соответственно (табл. 1).

**Результаты.** Результаты эксперимента показали, что самое большое количество проросших семян (33%) наблюдается при добавлении хлорида натрия самой высокой 0,764 г/л концентрации (рис. 1). На данной зависимости изображены кривые при разной концентрации токсиканта –  $HgCl_2$  и тестового образца (без добавления токсиканта).

Таблица 1 – Доля проросших семян (%) на 3-и сутки при разной температуре (°C)

№ п/п	Наименование токсиканта в образце и его концентрация	Температура, °C, плюс		
		10	23	30
1	Тестовый образец (с водой)	0	17	20
Хлорид ртути (II), г/л, C=				
2	2,500	0	0	0
3	0,250	0	7	10
4	0,025	0	20	23
Хлорид натрия, г/л, C=				
5	0,764	0	33	37
6	0,0764	0	30	33
7	0,00764	0	23	27

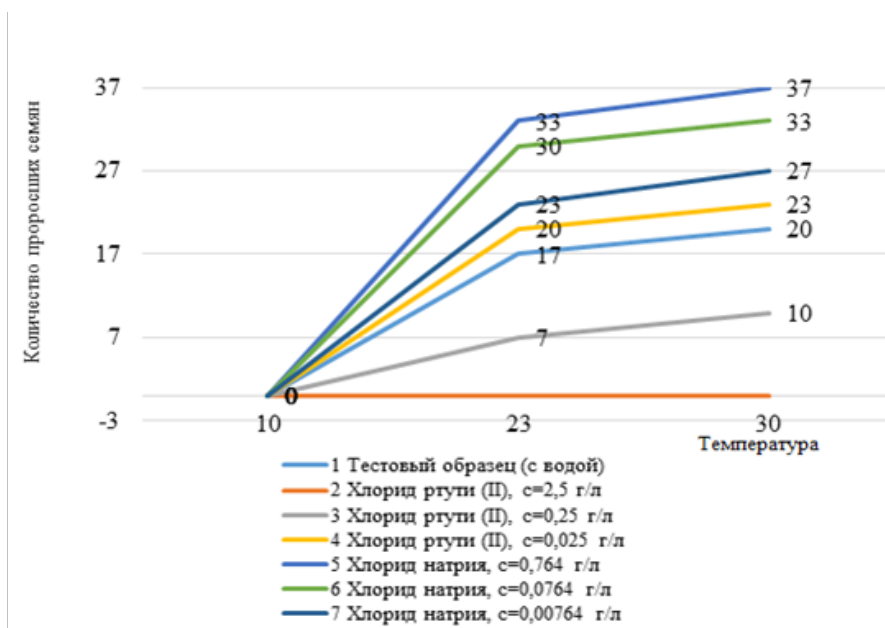


Рисунок 1 – Зависимость доли проросших семян овса от температуры при разных концентрациях –  $HgCl_2$ , где °C(X) – температура, °C

При добавлении разбавленного хлорида натрия 0,076 г/л наблюдается незначительное ухудшение прорастания семян примерно на 3%. При добавлении хлорида ртути (II), концентрацией 2,5 г/л, семена не взошли. Но если этот раствор разбавить в 10 и 100 раз, то наблюдаются небольшие изменения, показывающие, что при снижении концентрации хлорида ртути от 0,25 г/л до 0,025 г/л (соответственно при разбавлении в 10 и 100 раз) всхожесть растёт от 7% до 20%.

Важным внешним фактором для проведения экспериментов является температура окружающей среды, поэтому было важно выявить насколько велика погрешность от этого фактора [12-14].

Проведен эксперимент при температуре плюс 10°C, который показал, что на третьи сутки ни одно семя из всех образцов не взошло, также нет и корневой системы. Поэтому было решено продлить опыт на несколько дней. На пятые сутки почти у всех образцов (кроме образца с добавлением хлорида ртути (II),  $C=2,5$  г/л появилась небольшая корневая система около 2÷5 мм длиной. Отличительная особенность этого эксперимента заключалась в том, что ни одно семя не дало ростка (не проросло).

Поэтому требуется больше времени, для того, чтобы семена могли прорасти при этой температуре.

Далее, был проведен эксперимент при таких же концентрациях и в таких же условиях, что эксперимент, приведенный выше, но только при температуре плюс 30°C. Опыт показал, что на третьи сутки доля проросших семян примерно на 3% выше, чем эксперимент, проведенный при комнатной температуре (плюс 23°C, табл. 1).

Продолжение опыта нецелесообразно, т. к. на пятые сутки наблюдалась бы 100% всхожесть.

**Обсуждение.** При проведении эксперимента было выяснено, что:

1. Большие концентрации (2,5 г/л), проникающие в семя с водой, убивают его изнутри.

2. По сравнению с корневой системой, ростки являются более чувствительной частью выбранного биоиндикатора, т. к. клетки, ответственные за формирование проростка более чувствительны к интоксикации ртутью, чем клетки, отвечающие за формирование и рост корней. Поэтому внешнее проявление, заключающееся в отсутствии ростков, является визуальным признаком поражения более высокочувствительных клеток биоиндикатора.

3. При температуре, равной плюс 30°C, корневая система получается более длинная, имеет ветвистую структуру, т.е. большее количество разветвлений.

4. На проведение экспериментов большое влияние оказывает температурный режим (рис. 1). Это говорит о том, что температурный фактор является важным при проращивании семян. Из таблицы видно, что при низких температурах ни одно семя овса не взошло. При повышенной же температуре доля проросших семян примерно на 3% выше, чем при комнатной температуре. Следовательно, можно судить, что

температура влияет на качество проросших семян. При низких температурах длительность эксперимента можно продлить от 3 до 6 суток, а при высоких температурах длительность опыта можно сократить до 2 суток. Следовательно, была принята оптимальная длительность опыта, которая составляет 3-4 сутки.

5. Сопоставлении кривых на графике показало, что они выглядят одинаково, только меняются местами между собой (рис. 1). Данные рисунка показывают, что при больших концентрациях интенсивность прорастания семян меньше по сравнению с тестовым образцом. А при концентрации 0,025 г/л токсиканта (концентрация равна ПДК) всхожесть семян выше, по сравнению с тестовым образцом. Следовательно, при малых концентрациях токсиканта, всхожесть увеличивается.

Кривые с токсикантом  $NaCl$  находятся выше тестового образца. Следовательно, при большей температуре всхожесть семян с добавлением  $NaCl$  выше, причем с большей концентрацией доля всхожести выше.

Анализ данных диаграмм показал, что наибольшая всхожесть семян наблюдается в интервале температур от плюс 18°C до плюс 25°C, поэтому можно сказать, что комнатная температура, равная плюс 23°C является оптимальной.

**Выводы.** При выборе необходимых концентраций токсиканта установлено, что наиболее информативные результаты могут быть получены при использовании токсиканта  $HgCl_2$  с концентрацией 0,025 г/л.

Исследование всхожести семян, подвергшихся воздействию различных концентраций токсиканта, показало, что токсикант имеет значительное влияние в первые дни появления ростков (2 и 3 суток), в это период он затормаживает всхожесть, образцы дифференцируются по скорости появления всходов. В последующие дни образцы различавшиеся по скорости появления всходов выравниваются по величине итоговой всхожести. Данный факт свидетельствует о проникновении токсиканта через оболочки семян до появления корневой системы [15-17].

Таким образом, сопоставление полученных данных о всхожести семян при температурах от плюс 10°C до плюс 30°C позволяет утверждать, что самая оптимальная температура всхожести семян при добавлении токсиканта является плюс 23°C. При данной температуре возможно проведение рекультивации почвы, загрязненной ртутью при чрезвычайных ситуациях, путем ее засева растениями (овсом), способствующими активизации микрофлоры и ускорению ассимиляции или разрушению ртути. В дальнейшем исследование рекультивация будет смоделирована в лабораторных условиях, а ее результаты будут распространяться на ожидаемые результаты природных процессов [18-20] для засева овсом и в дальнейшем другими культурами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Novosyolova E.A. Skripnik I.L., Kaverzneva T.T., Idrisova



- D.I., Pshenichnaya K.V. Express bioindication of environmental pollution with mercury using yeast fungi // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 848, V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021) 17th -18th June 2021. Volgograd: IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2021. – Sci. 848 012130.
2. Novosyolova E.A. Skripnik I.L., Kaverzneva T.T., Rummyantseva N.V., Tumanov A.Yu. Improvement of the method of express bioindication by yeast fungi of environmental pollution with mercury using mechanical activation and electrophysical action// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 839, Agribusiness, Economics and Organization of Agri-tech Engineering. 2021. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. – Sci. 839 022034.
3. Савельев Д.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Влияние опасных экологических факторов на безопасность населения и защита от них // Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции: Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. г. Железнодорожск, 26 октября 2018 г. – С. 211-214.
4. Савельев Д.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Актуальные вопросы экологического загрязнения мегаполисов вредными веществами, влияние опасных факторов на здоровье населения // Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции: Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. г. Железнодорожск, 26 октября 2018 г. – С. 224-227.
5. Савельев Д.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Экологическая обстановка в мегаполисах и ее влияние на уровень здоровья молодых людей // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2018. – № 3. – Т. 23. – С. 61-64.
6. Novosyolova E.A. Skripnik I.L., Voronin S.V., Kaverzneva T.T., Sogonov S.A., Development of Environment Mercury Contamination Bioindication at Emergency Mitigation// AIP Conference Proceedings 2442. – 060008 (2021).
7. Ivakhnyuk, G.K., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Basharichev A.V. Investigation of heat flux intensity during composting of organic wastes // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Т.548 – 022021. Эл. доступ DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022021>.
8. Пименова М.А., Скрипник И.Л., Воронин С.В. О необходимости учета показателей пожарной опасности отходов при назначении их класса опасности // Сборник статей по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции “Сервис безопасности в России: Опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение комплексной жизнедеятельности населения” 27 сентября 2017 года. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – С. 296-299.
9. Новоселова Е.А., Иванов А.В., Колесников С.В. Аппаратурно-методическое обеспечение процессов демеркуризации объектов чрезвычайных ситуаций в условиях Крайнего Севера // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета противопожарной службы МЧС России». – 2016. – № 2. – С. 16-20.
10. Каплина С.П., Каманина И.З. Мониторинг почвенного покрова малых и средних городов севера Московской области// Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. – Вып.14. – М: РУДН, 2012. – Ч. 2. – С. 108 -114.
11. Каплина С.П., Каманина И.З., Судницын И.И. Тяжелые металлы в почвах городов Дубна и Дмитров//Агрохимия. – 2012. – № 10. – С. 60-65.
12. Шворнева Е.В., Ляпина Е.Е., Воропай Н.Н. Содержание и особенности накопления ртути в хвое сосны обыкновенной (PINUS SYLVESTRIS L.) // В книге: Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу Тезисы докладов российской конференции. /Под ред. М.В. Кабанова. – 2017. – С. 183-184.
13. Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – №1 (23). – С.182.
14. Сорокина О.И., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажа С.Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С.159-170.
15. Sorokina O.I., Enkh-Amgalan S. Lead in the landscapes of Ulaanbaatar city // Arid ecosystems. – 2012. – Nol(vol.2). – P.61-67.
16. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д. Геохимия техногенных ландшафтов г. Улан-Батор. Геохимия ландшафтов и география почв. К 100-летию М.А. Глазовской. / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. – М.: АПР. – 2012. – С.207-235.
17. Воронцова, А.В. Рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ неорганической составляющей снегового покрова Санкт-Петербурга // Науки о Земле и цивилизация: Материалы Международной молодежной конференции. Том 1. Науки о Земле / Под общ. ред. Е.М. Нестерова. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2012. – с. 50-54.
18. Воронцова, А.В. Геохимия твердой фракции снегового покрова Санкт-Петербурга // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. Серия Естественные и точные науки. – СПб. – 2012. – № 153 (2). – С. 46-52.
19. Воронцова, А.В. Геохимия снегового покрова в условиях городской среды // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. Серия Естественные и точные науки. – СПб. – 2012. – N 147. – С. 125-132.
20. Ляпина Е.Е., Ветрова Е.В., Воропай Н.Н. Содержание ртути в хвое юго-запада Прибайкалья // Аэрозоли Сибири. XXIII Рабочая группа: Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. – 116 с.

Статья поступила в редакцию 15.04.2022

Статья принята к публикации 20.06.2022