НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.53:631.452(470.26)

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Иноземцева О.К., [1]Пунгин А.В., [2]Буевич И.С.

[1]ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград, e-mail: makovskaya.o@mail.ru

[2]ФГБУ «Калининградская межобластная ветеринарная лаборатория», Калининград

Безопасность пищевых продуктов является одной из важнейших проблем современности. Известно, что дефицит или избыток агрохимических компонентов почв, наряду с проблемой загрязнения тяжелыми металлами, способными аккумулироваться в разных частях сельскохозяйственных культур, отрицательно влияют на рост, развитие растений и урожай. В связи с интенсификацией сельского хозяйства в Калининградской области и для оценки потенциального экологического риска было проведено исследование почвенных образцов, взятых на землях сельскохозяйственного назначения. В 2016–2018 гг. производился отбор почв в разных районах Калининградской области и анализ на агрохимические (общий азот, подвижные калий и фосфор и органическое вещество) и химико-токсикологические показатели (тяжелые металлы). В результате были получены данные о пространственном распределении, количественном составе поллютантов верхних слоев почвы от 0 до 40 см. На основе полученных данных были созданы тематические карты, отображающие количественное распределение макро- и микроэлементов в почве, позволившие выявить загрязненные районы Калининградской области, где распространено несколько загрязнителей одновременно. Исследование почвенных образцов на землях сельскохозяйственного назначения показало, что средние значения тяжелых металлов в почве не превышали предельно допустимые концентрации (ПДК), за исключением локальных участков (Гурьевский, Славский, Багратионовский, Неманский районы), где отмечались точечные превышения свинца, никеля, кадмия, меди и мышьяка. Агрохимические показатели (калий, фосфор, азот и органическое вещество) в почве находятся в оптимальном количестве, исключения составляют некоторые районы области (Светловский городской округ, Правдинский район), где средний показатель ниже допустимого для основных сельскохозяйственных растений. В ходе анализа установлены источники поступления макро- и микроэлементов в верхние слои почвы: большинство тяжелых металлов способно поступать в верхние слои почвы посредствам антропогенного загрязнения (промышленность, транспорт и др.), а агрохимические показатели – в виде удобрений. Лишь подвижный калий и органическое вещество могут поступать в корнеобитаемые горизонты из почвообразующей породы.

Ключевые слова: почва, агрохимические показатели, тяжелые металлы, Калининградская область

ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL CONDITION FOR AGRICULTURAL PURPOSES OF THE KALININGRAD REGION

[1]Inozemtseva O.K., [1]Pungin A.V., [2]Buevich I.S.

[1]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: makovskaya.o@mail.ru;

[2]Kaliningrad inter-regional veterinary laboratory, Kaliningrad

Food safety remains an important problem of modern age. It is widely known, that both agrochemicals deficiency/excess in soils and accumulation of heavy metals in different parts of agricultural plants (known as «Heavy metal contamination) have a negative impact on crops growth and development. The assessment of potential ecological risks was conducted on the basis of agricultural soils samples due to farming industry`s intensification in Kaliningrad region. Sample acquisition with later soil toxicity (heavy metals) and biochemical (total nitrogen, labile phosphorus and potassium, organic matter) tests were conducted during the years 2016 through 2018. Acquired data on spatial distribution and qualitative content of pollutants in upper soil layers was used to create thematic maps for macro- and microelements` quantitative distribution in the soil, which allowed the detection of polluted areas in Kaliningrad region where different pollutants were found simultaneously. Mean values of heavy metal content in soil did not exceed maximum allowable concentration (MAC), with rare and sporadic exceedance of allowed values for lead, nickel, cadmium, copper and arsenic. Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter in soil samples were in optimal quantity, with a number of exceptions where mean values were below acceptable levels for agricultural plants. The following sources for macro- and microelements were determined during the analysis: the majority of heavy metals enters upper soil layers as a result anthropogenic pollution (manufacturing facilities, motor vehicles, etc.), while agrochemicals` content values depend mostly on fertilizers supplements. Only labile potassium and organic matter are able to enter root inhabited layers from parent rock.

Keywords: the soil, agrochemical indicators, heavy metals, Kaliningrad region

За последнее столетие многократно возрос антропогенный поток вещества через основные звенья биосферы, в том числе через агроэкосистемы. Сельскохозяйственная и антропогенная деятельность становится важнейшей причиной химической деградации почвы. Она способствует загрязнению и накоплению в почве тяжелых металлов [1, 2], влияет на качество сельскохозяйственной продукции [3, 4] и становится очень опасной для здоровья человека и животных [5–8]. Это связано со способностью многих металлов к биоаккумулированию в съедобных частях сельскохозяйственных культур [9].

Учитывая, что агрохимические и химические показатели достаточно динамичны и изменяются под воздействием различных факторов, как антропогенных, так и связанных с ведением сельского хозяйства [10, 11], необходимость в контроле макро- и микроэлементов в почвах многократно возрастает. Для контроля над соединениями различных химических элементов на практике используют перечни предельно допустимых концентраций. Накоплена определенная информация по сбору и обобщению сведений о фоновом содержании различных тяжелых металлов (кадмия, свинца, мышьяка, хрома и т.д.) в почвах [12, 13].

За последние десятилетия проведены работы отечественных и зарубежных учёных по изучению качественного и количественного состава различных химических поллютантов и оценке их воздействия на экологические свойства и функции почв [14–17]. В Калининградской области на протяжении многих лет проводились исследования особенностей распространения и содержания как агрохимических (гумус, калий, фосфор), так и химико-токсикологических показателей (бор, марганец, никель и многие другие) [18–20].

Особую актуальность приобретают эколого-агрохимические исследования в условиях интенсификации сельского хозяйства, которое проявляется в расширении посевных площадей и увеличении сельскохозяйственной продукции в Калининградской области [21]. Так же вследствие внедрения высокоинтенсивных сортов и гибридов на фоне использования концентрированных удобрений складывается отрицательный баланс химических элементов в земледелии, что обуславливает необходимость проведения систематического мониторинга [22]. В связи с этим, целью работы являлась оценка эколого-агрохимического состояния почв сельскохозяйственного назначения Калининградской области.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовалась почва с земель сельскохозяйственного назначения, отобранная в 14 районах Калининградской области (рис. 1). В зависимости от цели исследования (агрохимическое или химико-токсикологическое) почва отбиралась в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84 (Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа) [23, 24]. За 2016–2018 гг. было отобрано 280 почвенных образцов из верхних слоев почвы (агрохимические показатели от 0 до 40 см, химико-токсикологические до 100 см). Полученные данные были дополнены результатами ФГБУ «Калининградская межобластная ветеринарная Лаборатория», что суммарно составило 1381 образец.

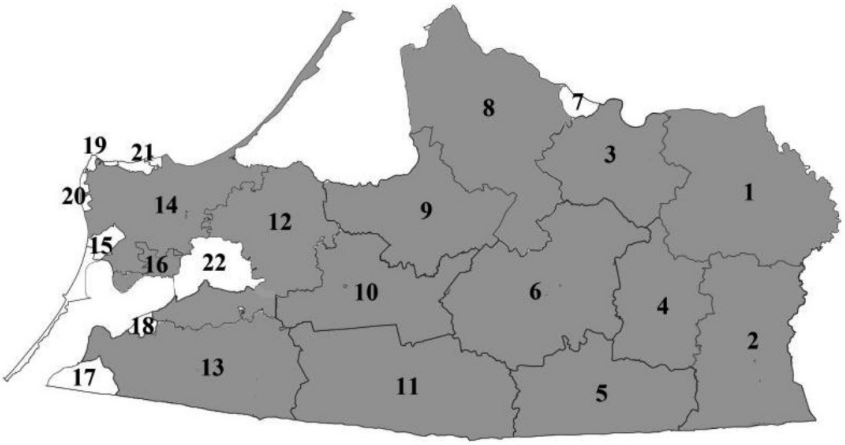


Рис. 1. Карта административно-территориального устройства Калининградской области (обследованные территории выделены серым цветом): 1) Краснознаменский район, 2) Нестеровский район, 3) Неманский район, 4) Гусевский район, 5) Озерский район, 6) Черняховский район, 7) Советский городской округ, 8) Славский район, 9) Полесский район, 10) Гвардейский район, 11) Правдинский район, 12) Гурьевский район, 13) Багратионовский район, 14) Зеленоградский район, 15) Балтийский район, 16) Светловский городской округ, 17) Мамоновский городской округ, 18) Ладушкинский городской округ, 19) Светлогорский район, 20) Янтарный городской округ, 21) Пионерский городской округ, 22) Городской округ Калининград

Согласно требованиям ГОСТ, указанным для конкретного исследования, проводилась соответствующая подготовка проб для анализа. В образцах исследовано содержание следующих химико-токсикологических элементов: валовые (кадмий, мышьяк, ртуть) и подвижные (свинец, медь, никель, цинк, марганец) формы тяжёлых металлов, а также агрохимические: подвижные формы калия и фосфора, общего азота и органического вещества. Анализы проводились на базе лаборатории агрохимического и химико-токсикологического отделов ФГБУ «Калининградская МВЛ».

Тяжелые металлы определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Atomic Absorption Spectrometer PinAAcle 900T за исключением мышьяка, который измеряли вольтамперометрическим методом на анализаторе TA-Lab. Агрохимические показатели определялись по следующим методикам: подвижные калий и фосфор по методу А.Т. Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011) [25], содержание общего азота титриметрическим методом согласно ГОСТ 26107-84 [26], величина органического вещества измерялась фотометрическим методом по ГОСТ 26213-91 [27]. Для исследования органического вещества, подвижных калия и фосфора, общего азота использовали спектрофотометр Unico2100.

Для обработки статистических данных использовалась программа IBM SPSS Statistics 23 и Microsoft Excel 2010. Для построения картографических схем использовали геоинформационную систему Quantum GIS 2.18 и Adobe Photoshop CS5.

Результаты исследования и их обсуждение

Средний показатель содержания подвижного калия в верхних слоях почвы (от 0 до 40 см) составил 201 ± 10 мг/кг, минимальное количество этого элемента зафиксировано в почвах Светловского городского округа (74 ± 49 мг/кг), а максимальное в Гурьевском районе (252 ± 129 мг/кг). Следует отметить, что уровень калия более 120 мг/кг является оптимальным для обеспечения начального роста и развития растений [27], что отмечается во всех районах области за исключением Светловского городского округа. Можно предположить, что причиной является недостаточное внесение удобрений или расположение на почвах легкого гранулометрического состава [28].

Количество подвижного фосфора в среднем составляет 303 ± 23 мг/кг, максимальное значение зафиксировано в Светловском городском округе (398 ± ± 100 мг/кг). Минимальное количество этого элемента найдено в почвах Правдинского района (52 ± 33 мг/кг), что является недостаточным количеством этого элемента для основных выращиваемых растительных культур. Содержание подвижного фосфора для обеспечения оптимального роста и развития растений составляет более 100 мг/кг [29], что отмечено в остальных районах области. Органическое вещество, высокие концентрации которого были отмечены в почвах аллювиального состава [30], в среднем составляет 3,20 ± 0,27 %. В почвах Багратионовского района зафиксировано минимальное количество (1,9 ± 1,3 %), а максимальное в Черняховском (7,8 ± 11,1 %) районе. Так же в составе органического вещества присутствует общий азот. В почвах Калининградской области средний показатель общего азота составил 0,20 ± 0,01 %. Минимальное количество зафиксировано в почвах Светловского городского округа (0,11 ± 0,06 %;), а максимальное – в Гусевском районе (0,3 ± 0,1 %). Согласно литературным данным, уровень азота в почвах зависит от антропогенной деятельности [31].

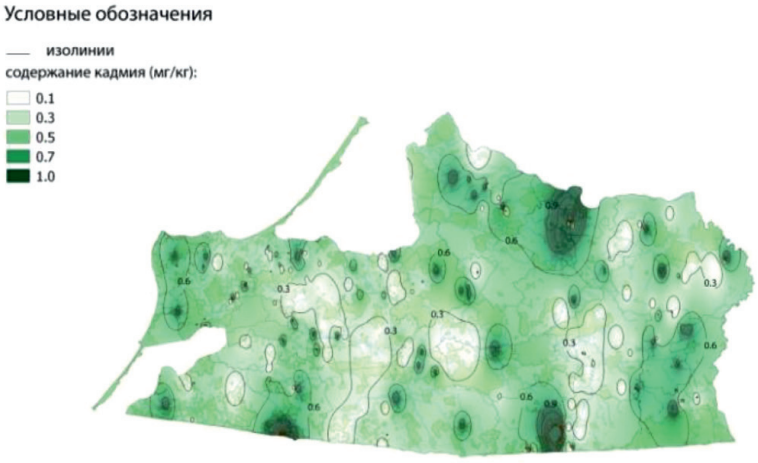
В ходе исследования был выявлен дефицит ряда микроэлементов (марганца, цинка, меди) в почве, причиной этому служит обедненная материнская порода, поскольку наличие данных металлов в верхних слоях почвы обуславливается влиянием нижних горизонтов почв [17, 32]. Так, подвижного марганца в исследуемых образцах в среднем содержится 22,3 ± 1,0 мг/кг, в то время как необходимое количество для растений (рапс, гречиха и др.) должно составлять не менее 50 мг/кг [28]. Максимальное количество этого элемента зафиксировано в почвах Светловского городского округа (45,2 ± 39,8 мг/кг), минимальное в Гвардейском районе (13,7 ± 9,9 мг/кг). Схожая картина наблюдается для цинка и меди, однако необходимое количество каждого из этих элементов для растений (например, рапса и картофеля) составляет 5 мг/кг [28]. В отобранных образцах почвы среднее содержание подвижного цинка составило 3,3 ± ± 3,8 мг/кг, максимальное количество зафиксировано в почвах Светловского городского округа (11,4 ± 1,6 мг/кг), минимальное в Неманском (2,1 ± 1,1 мг/кг) районе. Количество подвижной меди было равным 1,99 ± ± 0,01 мг/кг, максимальное количество этого элемента зафиксировано в почвах Гусевского района (2,1 ± 0,2 мг/кг), минимальное в Нестеровском районе (2,0 ± 0,1 мг/кг).

Наиболее опасными загрязнителями согласно ГОСТ 17.4.1.0283 [23, 33], относящимися к I классу опасности (высоко опасные) в исследованных образцах почвы, являются: As, Cd, Hg, Pb, Ni. Согласно проведенному анализу, схемы распределения металлов в почвах Калининградской области отображены на рис. 2–4.

Средние значения валовых форм тяжелых металлов не превышают предельно допустимые концентрации. Нахождение мышьяка (рис. 2, а) в почвах в среднем составляет 1,7 ± 0,1 мг/кг, максимальная концентрация отмечена в почвах Светловского городского округа (3,5 ± 0,4 мг/кг) и Славского района (2,1 ± 1,1 мг/кг), минимальная в Полесском районе (1,1 ± 0,4 мг/кг). Согласно литературным данным, источниками мышьяка являются минаральные удобрения [34]. В районах, отмеченных высокими концентрациями мышьяка (рис. 2, а), почвы задействованы для посадки различных культур.

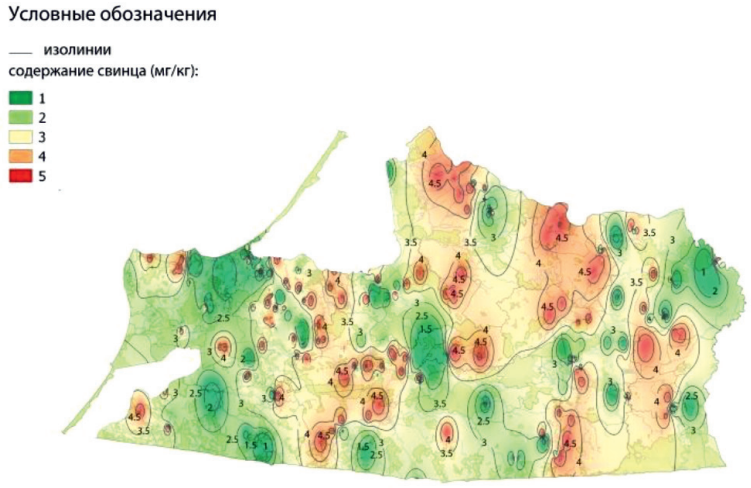
Средний уровень валового кадмия в почве составляет 0,80 ± 0,02 мг/кг (рис. 2, б), максимальное количество этого элемента зафиксировано в почвах Краснознаменского района (1,3 ± 0,4 мг/кг), минимальное в Багратионовском районе (1,1 ± 0,9 мг/кг). Среднее значение кадмия по области вдвое ниже уровня ПДК (2 мг/кг), но отмечаются локальные районы с близкими к предельно допустимым значениям кадмия в почве (рис. 2, б). Источниками кадмия выступают выбросы от стационарных источников и внесение минеральных удобрений (например, суперфосфат или селитра) [29, 31].

а)

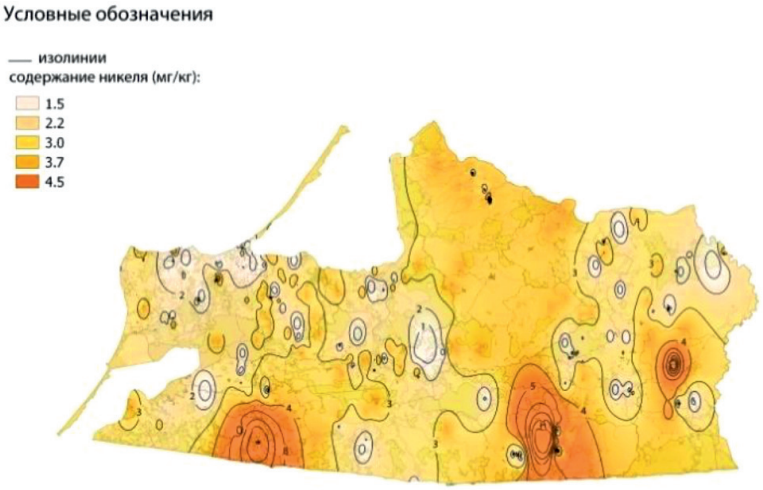


б)

Рис. 2. Схема распределения мышьяка (а) и кадмия (б) в почвах Калининградской области



а)



б)

Рис. 3. Схема распределения свинца (а) и никеля (б) в почвах Калининградской области

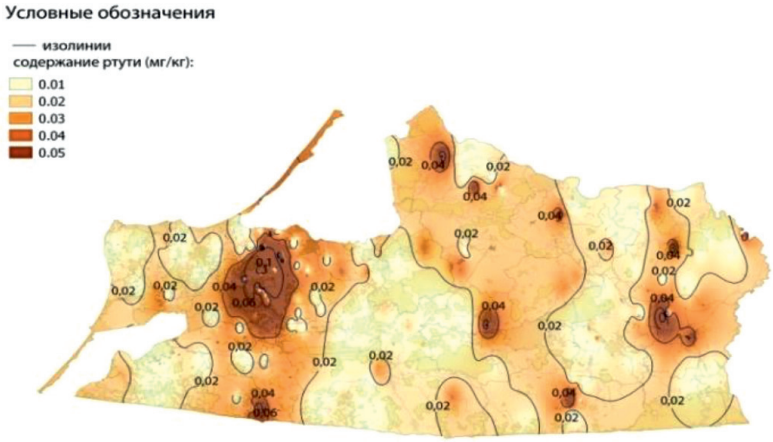


Рис. 4. Схема распределения ртути в почвах Калининградской области

Среднее количество подвижного свинца установлено на уровне 5,01 ± 0,01 мг/кг, максимальное отмечено в почвах Светловского городского округа – 6,2 ± 1,7 мг/кг (рис. 3, а), а минимальное – в Багратионовском районе (4,8 ± 0,7 мг/кг). Средний показатель свинца по области близок к уровню ПДК (6 мг/кг), а в некоторых районах (Светловский городской округ) превышает на 0,2 мг/кг, что свидетельствует о высоком воздействии антропогенного фактора, поскольку свинец поступает в окружающую среду посредством сжигания топлива и выбросов от промышленных предприятий [12, 31, 35].

Среднее количество подвижного никеля составило 4,03 ± 0,01 мг/кг. В данном исследовании подвижный никель является единственным металлом, где средняя концентрация превышает уровень ПДК на 0,03 мг/кг [36]. В почвах Полесского района зафиксировано минимальное (рис. 3, б) количество (4,00 ± 0,01 мг/кг), а в Нестеровском районе максимальное (4,2 ± 0,3 мг/кг), также на схеме выделены участки с высоким содержанием никеля – в Багратионовском (4,1 ± 0,2 мг/кг) и Озерском (4,1 ± 0,3 мг/кг) районах. Согласно литературным данным, источником поступления никеля в почву служит почвообразующая порода (ледниковые и озерно-ледниковые наносы) [37, 38]. Следует заметить, что самые высокие средние значения получены в тех районах, где преобладают почвы тяжелого гранулометрического состава [39].

В Светловском городском округе зафиксировано максимальное среднее количество ртути (0,12 ± 0,07 мг/кг), в то время как средний показатель по области равен 0,040 ± 0,002 мг/кг (рис. 4).

В Гурьевском и Нестеровском районах в образцах почвы были отмечены максимальные значения ртути равные 0,46 мг/кг и 0,22 мг/кг, однако средний показатель в этих районах составляет 0,04 ± 0,04 мг/кг. Данные результаты, возможны по причинам локальных загрязнений от стационарных источников [31].

Согласно проведенному исследованию 62,5 % тяжелых металлов привносятся в виде различных загрязнений (промышленных, бытовых и т.д.), 25 % приходится на состав почвообразующей породы и лишь 12,5 % металлов поступают в почву одновременно двумя способами [5]. Относительно изучаемых агрохимических показателей почв сельскохозяйственного назначения Калининградской области можно утверждать, что все они поступают в верхние слои почвы путем внесения удобрений и лишь калий и органические вещества способны поступать в корнеобитаемые горизонты из почвообразующей породы [40, 41].

Заключение

Проведенная оценка эколого-агрохимического состояния почв сельскохозяйственных территорий Калининградской области показала, что содержание тяжелых металлов в корнеобитаемых горизонтах сельскохозяйственных растений находится ниже уровня предельно допустимых концентраций за исключением подвижных форм свинца и никеля. Агрохимические показатели находятся в оптимальном соотношении для выращивания различных сельскохозяйственных культур (рапса, озимой пшеницы, картофеля и т.д.).

Наибольшее загрязнение почв тяжелыми металлами наблюдалось на площадях, находящихся вблизи источников загрязнения (промышленные объекты, автодороги и т.д.). Осуществляемый контроль за загрязнением почв токсичными элементами позволит избежать негативных последствий для здоровья человека и животных.

Список литературы / References

1. Anyanwu B., Ezejiofor A., Igweze Z., Orisakwe O. Heavy Metal Mixture Exposure and Effects in Developing Nations: An Update. Toxics. 2018. Vol. 6. № 4. P. 65. DOI: 10.3390/toxics6040065.

2. Sherameti I., Varma A. Heavy metal contamination of soils. Berlin: Springer, 2015. 497 p.

3. Hu B.F., Chen S.C., Hu J., Xia F., Xu J.F., Li Y., Shi Z. Application of portable XRF and VNIR sensors for rapid assessment of soil heavy metal pollution. PLoS ONE. 2017. Vol. 12. № 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0172438.

4. Khan S., Cao Q., Zheng Y., Huang Y., Zhu Y. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental pollution. 2008. Vol. 152. № 3. P. 686–692.

5. Lepp N.W. Effect of heavy metal pollution on plants: Effects of trace metals on plant function. Springer Science & Business Media, 2012. 352 p.

6. Sudhakaran M., Ramamoorthy D., Savitha V., Balamurugan S. Assessment of trace elements and its influence on physico-chemical and biological properties in coastal agroecosystem soil, Puducherry region. Geology, Ecology, and Landscapes. 2018. Vol. 2. № 3. P. 169–176. DOI: 10.1080/24749508.2018.1452475.

7. Saby N.P.A., Marchant B.P., Lark R.M., Jolivet C.C., Arrouays D. Robust geostatistical prediction of trace elements across France. Geoderma. 2011. Vol. 162. № 3–4. P. 303–311.

8. Chang C.Y., Yu H.Y., Chen J.J., Li F.B., Zhang H.H., Liu C.P. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. Springer Open Choice. 2014. 186 (3). P. 1547–1560. DOI: 10.1007/s10661-013-3472-0.

9. Wang S., Wu W., Liu F., Liao R., Hu Y. Accumulation of heavy metals in soil-crop systems: a review for wheat and corn. Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. № 18. P. 15209–15225. DOI: 10.1007/s11356-017-8909-5.

10. Selim H.M. Dynamics and bioavailability of heavy metals in the rootzone. CRC Press, 2011. 298 p.

11. Wang X., Xu Y. Soil heavy metal dynamics and risk assessment under long-term land use and cultivation conversion. Environmental Science and Pollution Research. 2015. Vol. 22. № 1. P. 264-274. DOI: 10.1007/s11356-014-3340-7.

12. Путилов А.В. Охрана окружающей среды: учеб. пособие для техникумов. М.: Химия, 1991. 224 с.

Putilov A.V. Environmental Protection: Textbook for technical schools. M.: Chemistry, 1991. 224 p. (in Russian)

13. T. Punshon B.P. Jackson A.A. Meharg T., Warczack K., Scheckel M.L. Guerinot Understanding arsenic dynamics in agronomic systems to predict and prevent uptake by crop plants // HHS Author Manuscripts. 2017. 581–582: 209–220. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.111.

14. Ondrasek G., Begić H. B., Zovko M., Filipović L., Meriño-Gergichevich C., Savić R., Rengel Z. Biogeochemistry of soil organic matter in agroecosystems & environmental implications. Science of The Total Environment. 2019. Vol. 658. P. 1559–1573.

15. Pratush A., Kumar A., Hu Z. Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review. International Microbiology. 2018. Vol. 21. № 3. P. 97–106. DOI: 10.1007/s10123-018-0012-3.

16. Xing W., Zheng Y., Scheckel K.G., Luo Y., Li L. Spatial distribution of smelter emission heavy metals on farmland soil. Environmental monitoring and assessment. 2019. Vol. 191. № 2. P. 115. DOI: 10.1007/s10661-019-7254-1.

17. Панасин В.И. Избранные научные труды: Микроэлементы в земледелии. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. Т. 1. 209 с.

Panasin V.I. Selected Works: Trace elements in agriculture. Kaliningrad: BFU im. I. Kanta, 2018. Vol. 1. 209 p. (in Russian).

18. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881 DOI: 10.7868/S0032180X13050171.

Vodyanictkiy Y.N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review) // Eurasian Soil Science. 2013. V. 46. № 7. P. 793–801. DOI: 10.1134/S1064229313050153.

19. Панасин В.И. Микроэлементы и урожай. Калининград: ОГУП Калининградское кн. изд-во, 2000. 276 с.

Panasin V.I. Trace elements and harvest. Kaliningrad: OGUP Kaliningradskoe kn. izd-vo, 2000. 276 p. (in Russian).

20. Протасова Н.А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 367 с.

Protasova N.A. Microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B,I, Mo) in black soils and gray forest soils of the Central Black Soil Region. Voronegh: Voronezh. gos. un-t, 2003. 368 p. (in Russian).

21. Дудин М.Н. Особенности развития сельского хозяйства Калининградской области // Региональная экономика: теория и практика. 2016. № 10. С. 92–100.

Dudin M.N. Agriculture in the Kaliningrad oblast: Peculiarities of development // Regional economy: theory and practice. 2016. № 10. P. 92–100 (in Russian).

22. Панасин В.И., Рымаренко Д.А. Обеспеченность почв микроэлементами и эффективность применения микроудобрений в Калининградской области // Известия КГТУ. 2017. № 44. С. 183–190.

Panasin V.I., Rymarenko D.A Provision of soil with trace elements and efficiency of application of micronutrients in the Kaliningrad region // Izvestia KGTU. 2017. № 44. P. 183–190 (in Russian).

23. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартформ, 2008. 9 с.

24. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартформ, 2008. 8 с.

25. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартформ, 2013. 7 с.

26. ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам,1985. 12 с.

27. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1993. 8 с.

28. Вихман М.И., Долинина В.В, Григорович Л.М., Панасин В.И., Шогенов Т.А. Удобрение, технологии и урожай: справочник агронома по химитизации земледелия. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. 315 с.

Wichmann M.I, Dolina V.V., Grigorovich L.M., Panasin V.I., Shogenov T.A. Fertilizer, technology and harvest: an agronomist's manual on chemicalization of agriculture. Kaliningrad. BFU im. I. Kanta, 2018. 315 p. (in Russian).

29. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, КолосС, 2004. 720 с.

Mineev V.G. Agrochemistry. M.: Izd-vo MGU, KolosS, 2004. 720 p. (in Russian).

30. Галанин А.В. Флора и ландшафтно-экологическая структура растительного покрова. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 272 с.

Galanin A.V. Flora and landscape-ecological structure of vegetation. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1991. 272 p. (in Russian).

31. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области в 2017 г. Калининград, 2018. 201 с.

State report on the environmental situation in the Kaliningrad region in 2017. Kaliningrad 2018. 201 p. (in Russian).

32. Панасин В.И., Вихман М.И., Уютов Р.Г., Рымаренко Д.А. Эколого-агрохимические особенности распространения меди и цинка в почвах Rалининградской области // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 11–15.

Panasin V.I., Wichmann M.I., Ujutov R.G, Rymarenko D.A. Ecological and agrochemical features of copper and zinc distribution in the soils of the Kaliningrad region // Problems of agrochemistry and ecology. 2017. № 1. P. 11–15 (in Russian).

33. Brian J. Alloway Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer Science & Business Media, 2012. 614 p.

34. Игнатов В.Г., Сидоренкова Н.К., Потатуева Ю.А. Влияние длительного применения различных форм фосфорных удобрений на накопление мышьяка в почвах и растениях // Агрохимия. 2012. № 9. С. 84–96.

Ignatov V.G., Sidorenkova N.K., Potatueva U.A. Effect of long-term use of various forms of phosphate fertilizers on arsenic accumulation in soils and plants // Agrochemistry. 2012. № 9. P. 84–96 (in Russian).

35. Wieczorek J., Baran A., Urbański K., Mazurek R., Klimowicz-Pawlas A.. Assessment of the pollution and ecological risk of lead and cadmium in soils. Springer Open Choice.Environ Geochem Health. 2018. 40(6): 2325–2342. DOI: 10.1007/s10653-018-0100-5.

36. Макаров О.А. Состояние почвы как объект экологического нормирования окружающей природной среды: дис. … докт. биол. наук. Москва, 2002. 534 с.

Makarov O.A. Soil condition as an object of environmental regulation of the environment: dis. … dokt. biol. nauk. Moscow, 2002. 534 p. (in Russian).

37. Tsadilas C., Rinklebe J., Selim M. Nickel in Soils and Plants. CRC Press, 2018. 391 p.

38. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, 2000. 432 p.

39. В. Орленок. Калининградская область: Атлас мира. Калининград: Мастерская «Коллекция», 2011.Т. 20. 96 с.

Orlenok V. Kaliningrad region: world atlas. Kaliningrad: Workshop «Collection», 2011. V. 20. 96 p. (in Russian).

40. Glazovskaia M.A. Soil-geographical and landscape-geochemical investigations, published for the U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service and the National Science Foundation, Washington, 1976. 237 p.

41. Панасин, В.И. Почвенно-агрохимические аспекты распространения микроэлементов в агроландшафтах // Почвы Калининградской области: исследования, использование, оценка современного состояния. Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2015. С. 71–79.

Panasin V.I. Soil and agrochemical aspects of the distribution of trace elements in agricultural landscapes // Soils of the Kaliningrad region: research, use, assessment of the current state. Izdatelstvo FGBOU «KGTU», 2015. P. 71–79 (in Russian).