



ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2025.3.2>



UDC 502.3

LBC 20.17

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENZYMATIC ACTIVITY OF SOILS ALONG THE COAST OF THE EVAPORATOR POND UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON THE AQUATIC AND COASTAL ECOSYSTEMS OF THE BOLSHOY LYMAN (VOLGOGRAD REGION)

Nikolay V. Onistratenko

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Anastasia N. Shkoot

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of diagnostics of changes in the biological activity of the soil of the Bolshoy Lyman evaporation pond by an operational method for determining protease activity in it using the Adobe Photoshop graphics editor. The long-term flow of polluted waters into the body of the pond has led not only to the accumulation of negative factors in this artificial reservoir but also to the formation of a very specific ecosystem that affects both the underlying relief, groundwater, and coastal landscapes and, indirectly, vast territories and the air basin of the Volga region.

Key words: protease activity, Volzhsky, Bolshoy Lyman evaporation pond, soil, man-made object.

Citation. Onistratenko N.V., Shkoot A.N. Assessment of the Level of Enzymatic Activity of Soils Along the Coast of the Evaporator Pond Under Conditions of Anthropogenic Pressure on the Aquatic and Coastal Ecosystems of the Bolshoy Lyman (Volgograd Region). *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 15-22. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2025.3.2>

УДК 502.3

ББК 20.17

ОЦЕНКА УРОВНЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ПОБЕРЕЖЬЯ ПРУДА-ИСПАРИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ПРЕССИНГА НА АКВАЛЬНЫЕ И ПРИБРЕЖНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОЛЬШОГО ЛИМАНА (ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛ.)

Николай Владимирович Онистратенко

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Анастасия Николаевна Шкут

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты диагностики изменений биологической активности почвы пруда-испарителя Большой Лиман путем оперативного способа определения протеазной активности в ней с помощью графического редактора AdobePhotoshop. Установлено, что многолетнее поступление загрязненных вод в тело пруда привело не только к накоплению негативных факторов в данном искусственном водоеме, но и к формированию весьма специфической экосистемы, влияющей и на подстилающий рельеф, и на подземные воды, и на прибрежные ландшафты, а опосредованно – на обширные территории и воздушный бассейн Заволжья.

Ключевые слова: активность протеазы, г. Волжский, пруд-испаритель Большой Лиман, почва, техногенный объект.

Цитирование. Онистратенко Н.В., Шкут А.Н. Оценка уровня ферментативной активности почв побережья пруда-испарителя в условиях техногенного прессинга на аквальные и прибрежные экосистемы большого лимана (Волгоградская обл.) // Природные системы и ресурсы. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 15–22. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2025.3.2>

Введение

Формирование индустриального каркаса современного города невозможно без использования экологических ресурсов территорий, на которых расположен город, и прилегающих ландшафтов. Техногенный прессинг, оказываемый промышленностью, транспортном и хозяйственными процессами города на элементы антропоэкосистемы, закономерно отразится не только на каждом элементе экосистемы, но и на человеческом обществе во всем его разнообразии и сложности социально-экономических связей [3; 5; 7; 11]. Оценка степени воздействия на элементы ландшафта – насущная потребность системы управления природопользованием и охраны природы. Важным элементом ландшафтов левобережья Волгоградской области, влияющим на городские объекты, бассейн реки Волги и бессточную заволжскую равнину, является крупный техногенный водный объект – пруд-испаритель промышленного кластера г. Волжского, получивший название Большой Лиман [1].

Город Волжский является вторым промышленным центром Волгоградской области. Его основа – это такие индустриальные направления, как гидроэнергетика, строительная, химическая и металлургическая промышленности. Сточные воды города и предприятий сбрасываются в пруд-испаритель Большой Лиман из-за того, что даже прошедшие очистку сточные воды не подлежат сбросу в естественные водоемы ввиду повышенного со-

держания органических солей и различных загрязнений.

Неудовлетворительное экологическое состояние Большого Лимана вызывает серьезные опасения, так как сам он практически утратил способность самоочищаться, а продолжение сброса токсичных вод грозит экологической катастрофой не только для Большого Лимана, но и для всего региона.

Актуальность выбранной темы обусловлена неудовлетворительным состоянием пруда-испарителя Большой Лиман (далее – Б. Лиман), а также негативными последствиями, которые отрицательно влияют на различные компоненты среды, в том числе почвенные.

Цель работы – исследовать уязвимые почвы пруда-испарителя Большой Лиман усовершенствованным методом определения протеазной активности по Мишустину [6].

Задачи исследования:

- выполнить теоретический обзор;
- заложить исследуемые площадки и осуществить отбор проб почвы с пруда-испарителя Большой Лиман;
- провести работу по определению показателя протеазной активности в почвенных образцах пруда-испарителя Большой Лиман.

Объектом исследования является экологическая система Большого Лимана.

Предмет данной статьи – это процесс загрязнения Большого Лимана как изолированной водно-экологической системы.

В административном отношении исследуемая территория расположена в пределах

Ленинского и Средне-Ахтубинского районов Волгоградской области.

Введен в эксплуатацию как пруд-испаритель в 1962 году. Главное назначение Б. Лимана – это накопление и испарение очищенных химзагрязненных стоков в смеси с очищенными хофекальными стоками [8]. С 1979 года произошел рост промышленности, что, как следствие, привело к превышению количества стоков, что в скором времени сказалось на Большом Лимане: произошло его переполнение. Это создало серьезную опасность, так как была угроза прорыва дамб.

В 1983 году обнаружилась вторая проблема. Произошло загрязнение стоками предприятий «Волжский оргсинтез» и «Волжский каучук» подземного казарского водоносного горизонта. Сточные воды данных предприятий через суглинки протекали по кровле шоколадных глин и через «окна» фильтровались вниз в казарский горизонт. Таким образом, заявление авторов проекта, что утечка стоков полностью исключена, можно считать неверным [9]. В качестве исследования большой интерес вызвали уязвимые прибрежные ландшафты пруда-испарителя Большой Лиман.

Биологическое воспроизведение и поддержание почвенного состояния невозможно без учета микробиологической и, соответственно, ферментативной составляющей [2; 4]. Протеазная активность является одним из интегральных показателей общей биологической активности почвы и отражает ее потенциальную способность редуцировать белки и пептиды. Общеизвестна ключевая роль протеазы в мобилизации и круговороте азота. Обусловленное активностью протеолитических эдафоэнзимов увеличение содержания подвижного азота и других питательных элементов в почве способствует активизации процесса окисления целлюлозы. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы осуществляют расщепление клетчатки, одновременно синтезируя и частично выделяя аминокислоты в окружающую среду [10].

Существующие методики подсчета активности этого фермента отличаются трудоемкостью и применением достаточно большого количества реагентов и приборов. Кроме того, погрешности при таком анализе весьма

существенны [10]. В работе А.С. Холодной и К.А. Десяткина [10] был представлен усовершенствованный метод определения протеазной активности по Мишустину и разработан точный экспресс-метод, позволяющий быстро и просто оценивать количественный показатель протеазной активности в почве. Это нововведение значительно упрощает и ускоряет существующие методики, давая объективные данные о качестве почвы. Также важно отметить, что данный метод легко воспроизведен на практике при минимуме необходимых материалов. Поэтому предложенный метод имеет значительные преимущества по сравнению с уже существующими.

Материалы и методы исследования

Определение ферментативной активности по показателям активности протеазы выполнено в аккредитованной лаборатории АО «Волжский трубный завод» ECOHOUSETMK. В основу способа положен метод определения протеазной активности по Мишустину [6; 10].

Для проведения определения были задействованы следующие материалы:

- 1) почвенные образцы (50 г – масса одного образца);
- 2) пластиковые контейнеры;
- 3) неэкспонированная фотопленка Kodak Vision;
- 4) дистиллированная вода;
- 5) лабораторные весы;
- 6) МФУ LaserJetProMFPM428fdw (сканер);
- 7) Графический редактор Adobe Photoshop CC 2018.

В феврале 2025 года был произведен отбор проб почвы с пруда-испарителя Большой Лиман. Температура в данный день была +8 градусов. Снежный покров отсутствовал. Точки отбора почвенных образцов представлены на рисунке 1. Для сравнения в тот же день была отобрана проба почвы с природного парка «Волго-Ахтубинская пойма».

На дно пластикового контейнера был выложен отрезок пленки размером 10×3,5 см желатиновым слоем вверх. На пленку выложили исследуемую почву навеской равной 50 г. Далее почвенные образцы увлажнялись дистиллированной водой (до 80 % от полной влагоемкости почвы).

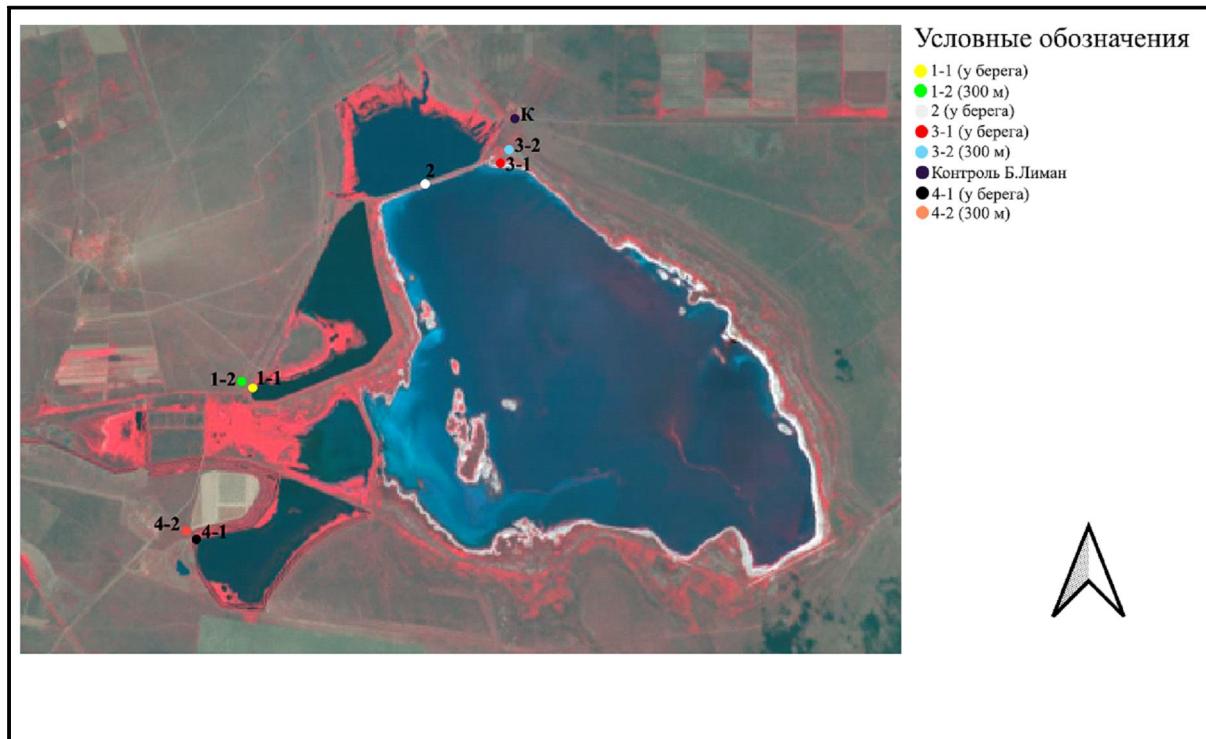


Рис. 1. Точки отбора проб почвы с пруда-испарителя Большой Лиман
(составлено А.Н. Шкут на основании QGIS [12])

На 4-й день пленки извлекли для дальнейшего определения количественной величины активности протеазы. Осторожно промыли дистиллированной водой и высушили в лаборатории.

Полученные пленки просканировали на Lazer Jet Pro MFP M428fdw и перевели в электронный вид. Контрольным образцом являлась пленка с неразложившимся желатином.

Отсканированное изображение открыли в графическом редакторе Adobe Photoshop и создали новый графический документ размером $3,5 \times 10$ см с прозрачным фоном и разрешением 78,74 пикселей на сантиметр. Из отсканированной области скопировали выделенный участок с фотопленкой и вставили его в созданный файл, масштабируя по размеру. Затем с помощью функции «Выделение → Цветовой диапазон» выбрали цвет фона, используя пипетку для выбора желатинового слоя; установили значение «разброса» на 200 для максимальной точности. Далее открыли инструмент «Гистограмма», где можно увидеть площади всего изображения и фона, соответствующего

участкам ферментативно разрушенного желатина. На основе соотношения площадей участка с разрушенным желатиновым слоем и контрольного образца вычислили общую биологическую активность почвы в процентах [10]. Оцифрованные пленки 1 серии представлены на рисунке 2.

Ниже приведен алгоритм пересчета для изображений с разрешением 78,74 пкс/см и пленок размером $3,5 \times 10$ см. Площадь одного квадратного сантиметра в пересчете на пиксели: $S = 78,74 \times 78,74 = 6\,200$ пкс.

1) площадь пленки в пикселях: $S_{\text{пл}} = 116\,427$ пкс.

Проверка:

$$\text{a) } S_{\text{пл}} = 3,5 \times 10 = 35 \text{ см}^2$$

$$\text{б) } S_{\text{пл}} = 217\,212 / 6\,200 = 35 \text{ см}^2$$

2) Площадь разложившегося желатинового слоя (см^2):

$$S_{\text{ж}} = S_{\text{ж}} (\text{пкс}) / 6\,200$$

3) Активность протеазы (%):

$$\text{ПА} = S_{\text{ж}} / S_{\text{пл}} \times 100$$

За результат проделанной работы принимали среднее арифметическое значение двух параллельных определений [10].

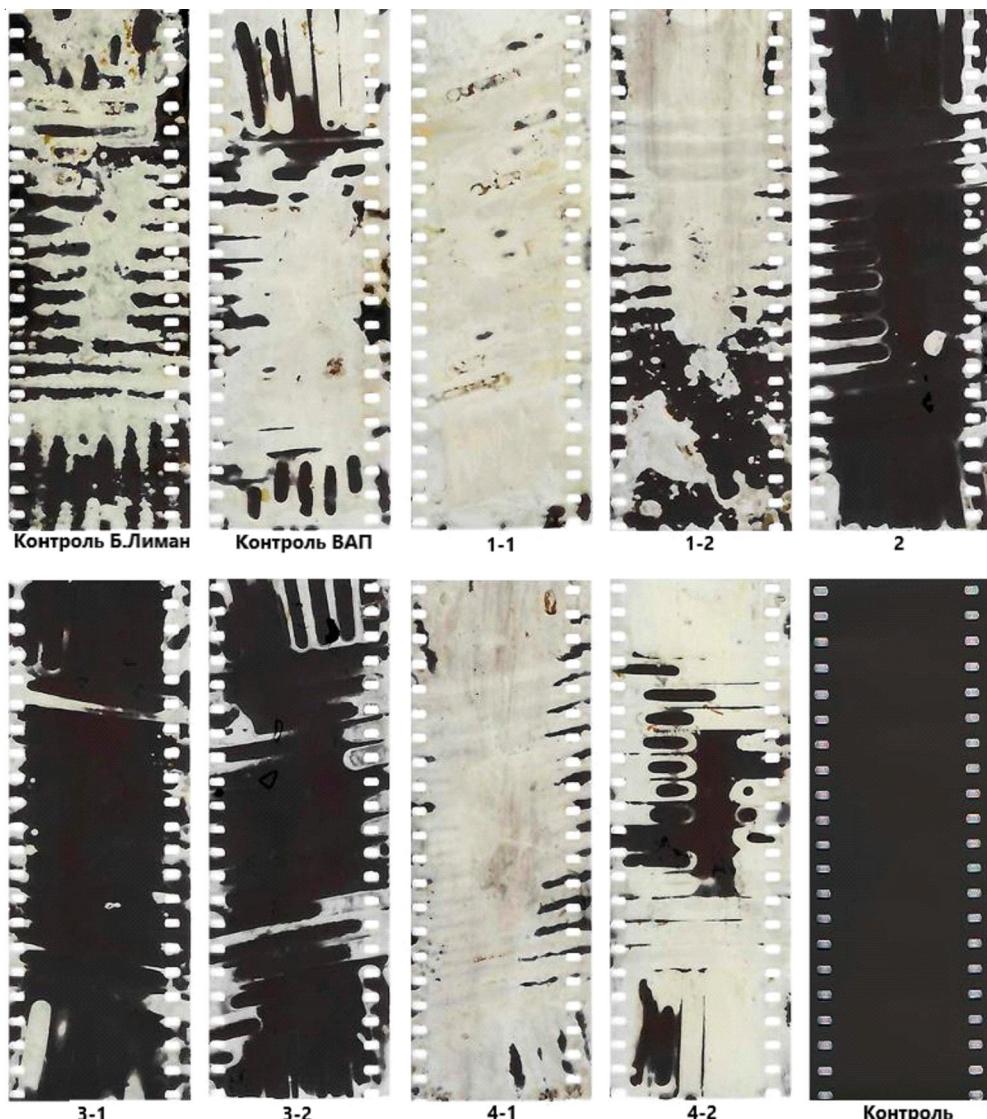


Рис. 2. Оцифрованные пленки с отпечатками, выявляющими активность протеазы в почве (фото А.Н. Шкут)

Результаты и обсуждение

Предложенный алгоритм определения функциональной устойчивости почв, включающий ряд несложных, нетрудоемких, дешевых этапов, благодаря которым получены данные по исследуемым почвам, позволил выявить, что высокая протеазная активность наблюдается в пробе 1-1 (у берега), 4-1 (у берега), в контрольной пробе, отобранный в природном парке «Волго-Ахтубинская пойма» (см. таблицу).

Высокую протеазную активность можно обосновать наличием содержания гумуса. Это касается контрольной пробы, отобранный в зоне ООПТ. Если же говорить о высоких показателях в пробах 1-1 и 4-1, то можно предположить, что фактором является

ся ежегодное затопление данных территорий сточной водой. Так, пробы 1-1 расположена возле сливной трубы, принадлежащей ООО «Волжские стоки». Точка 4-1 расположена в пруду «Почтарик», где происходит очищение хоз-фекальной и бытовой воды. Также стоит отметить тот факт, что данные территории испытывают большую техногенную и антропогенную нагрузку.

Низкий показатель отмечен в точках 2 и 3-1 (у берега). Главным фактором является отмеченное высокое солесодержание в данных пробах. Так, в ноябре 2024 года был проведен отбор проб почвы с данных точек, по результатам чего было выявлено, что в точке 2 солесодержание составило $3\ 480\ \text{мг}/\text{дм}^3$, а в точке 3-1 – $2\ 490\ \text{мг}/\text{дм}^3$.

**Протеазная активность почв с пруда-испарителя Большой Лиман
при увлажнении образцов до 80 % от полной влагоемкости**

Точка отбора почвы	ПА 1, %	ПА 2, %	ПА _{ср} , %
1-1	98,9	97,1	98,0
1-2	77,1	79,6	78,4
2	18,6	17,4	18,0
3-1	20	21,7	20,9
3-2	27,1	27,9	27,5
4-1	94,3	96,5	95,4
4-2	72,9	70,6	71,8
Контроль Б.Лиман	62,3	63,4	62,9
Контроль ВАП	80,0	82,1	81,1

Заключение

Результаты исследования наглядно свидетельствуют о широком диапазоне показателей протеазной активности почв прибрежных ландшафтов Большого Лимана, связанном с разнообразием качественных факторов и уровня техногенной нагрузки на аквальные экосистемы объекта. В то же время исследование подтвердило применимость данной методики в системе экологического мониторинга природно-ландшафтных и антропогенных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водохранилища, пруды и озера Волгоградской области / А. С. Овчинников [и др.]. – Волгоград : Изд-во ВолГАУ, 2020. – 352 с.
2. Герман, Н. В. Особенности микробных сообществ в зональных почвах аридной зоны юго-востока европейской части России / Н. В. Герман, Е. А. Иванцова, А. В. Холоденко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11, Естественные науки. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 31–38. – DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsul1.2017.3.4>
3. Иванцова, Е. А. Аридные экосистемы в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов, Н. В. Онистратенко // Академический вестник ЕЛРПИТ. – 2018. – Т. 3, № 4 (6). – С. 22–28.
4. Иванцова, Е. А. Противоэрзационные мероприятия воспроизводство плодородия почвенного покрова в Нижневолжском регионе / Е. А. Иванцова // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 67. – С. 161–164.
5. Иванцова, Е. А. Характер взаимодействия компонентов антропогенно-трансформированных экосистем юга России / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов // Известия Нижневолжского агроуниверситета
6. Мишустин, Е. Н. Аппликационные методы в почвенной микробиологии / Е. Н. Мишустин, И. С. Востров // Микробиологические и биохимические исследования почв. – Киев, 1971. – 110 с.
7. Овсянкин, Р. В. Воздействие антропогенной нагрузки на насаждения в функциональных зонах урбанизированной среды г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 350–356.
8. ООО «Волжские стоки» : офиц. сайт. – URL: <https://vlzstoki.ru/about>
9. Сергиенко, Л. И. Защита водных источников от загрязнения сточными водами на примере г. Волжского волгоградской области / Л. И. Сергиенко. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zashchita-vodnyh-istochnikov-ot-zagryazneniya-stochnymi-vodami-na-primerе-g-volzhskogo-volgogradskoi-oblasti?ysclid=m98w3fsp8m510582444>
10. Холодная, А. С. Оперативная диагностика функциональной стойкости почв под действием различных нагрузок / А. С. Холодная, К. А. Десятник // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 2. – С. 48–56. – URL: <https://www.elibraryru/item.asp?id=39565930&ysclid=m98w6cevrl901601506>
11. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития / Е. А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 143–156. – DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13>
12. QGIS : офиц. сайт. – URL: <https://qgis.org/>

REFERENCES

1. Ovchinnikov A.S., Loboyko V.F., Yakovlev S.V., Ovcharov A.U., Ivantsova E.A., Soboleva I.A. *Vodohranilishcha, prydy i ozera Volgogradskoy*

oblasti [Reservoirs, Ponds and Lakes of the Volgograd Region]. Volgograd, Izd-vo VolGAU, 2020. 352 p.

2. German N.V., Ivantsova E.A., Holodenko A.V. Osobennosti mikrobnyh soobshestv v zonalnyh pochvah aridnoj zony jugo-vostoka evropejskoj chasti Rossii [Features of Microbial Communities in Zonal Soils of the Arid Zone South-East of the European of Russia]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvennie nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2017, vol. 7, no. 3, pp. 31-38. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.3.4>

3. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V. Aridnie ekosistemy v usloviyah tehnogenного pressinga [Arid Ecosystems Under Technogenic Pressure]. *Akademicheskiy vestnik ELPIT*, 2018, vol. 3, no. 4 (6), pp. 22-28.

4. Ivantsova E.A. Protivoerozionnye meropriatija i vosproizvodstvo plodorodiya pochvennogo pokrova v Nizhnevozhliskom regione [Erosion Control Measures and Reproduction of Soil Fertility Cover in the Lower Volga Region]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology, Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, no. 67, pp. 161-164.

5. Ivantsova E.A., Novochadov V.V. Harakter vzaimodejstviya komponentov antropogenno-transformirovannyh ekosistem juga Rossii [Nature of Interaction Between Components of Anthropogenically Transformed Ecosystems in Southern Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Naukaivysheje professionalnoje obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2019, no. 3 (55), pp. 79-86.

6. Mishustin E.N., Vostrov I.S. *Applikacionnye metody v pochvennoj mikrobiologii* [Applicative Methods in Soil Microbiology]. *Mikrobiologicheskie i biokhimicheskie issledovaniya pochv* [Microbiological and Biochemical Studies of Soils]. Kyiv, 1971. 110 p.

7. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. *Vozdeystvie antropogennoy nagruzki na nasazhdeniya v funkcionalnyh zonah urbanizirovannoy sredy g. Volgograda* [The Impact of Anthropogenic Load on Plantings in the Functional Zones of the Urbanized Environment of Volgograd]. *Ecologicheskaya bezopastnost i ohrana okrujushchey sredy v regionah Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-pract. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in the Regions of Russia: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 350-356.

8. *OOO "Volzskije stoki": ofic. sajt* [Official Website of LLC "Volgskie Stoki"]. URL: <https://vlzstoki.ru/about>

9. Sergienko L.I. *Zashchita vodnyh istochnikov ot zagryazneniya stochnymi vodami na primere g. Volzhskogo Volgogradskoy oblasti* [Protection of Water Sources from Wastewater Pollution Using the Example of Volzhsky City, Volgograd Region]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-vodnyh-istochnikov-ot-zagryazneniya-stochnymi-vodami-na-primere-g-volzhskogo-volgogradskoi-oblasti?ysclid=m98w3fsp8m510582444>

10. Holodnaya A.S., Desyatnik K.A. *Operativnaya diagnostika funkcionalnoj stoykosti pochv pod dejstviem razlichnih nagruzok* [Operational Diagnostics of Functional Stability of Soils Under Different Loads]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologija* [Journal of the Belarusian State University. Ecology], 2018, no. 2, pp. 48-56. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39565930>

11. Ivantsova E.A., Postnova M.V., Sagalaev V.A., Matveeva A.A., Kholodenko A.V. *Ekologicheskaya ocenka gorodskih aglomeracij na osnove indikatorov ustoychivogo razvitiya* [Ecological Evaluation of Urban Agglomerations Based on Sustainable Development Indicators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ecologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Economics], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13>

12. *QGIS: ofic. sajt* [Official Website of QGIS]. URL: <https://qgis.org/>

Information About the Authors

Nikolay V. Onistratenko, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, onistratenko@volsu.ru

Anastasia N. Shkoot, Master's Student, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, chskut@mail.ru

Информация об авторах

Николай Владимирович Онистратенко, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, onistratenko@volsu.ru

Анастасия Николаевна Шкут, магистрант кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, chskut@mail.ru