

Е. Ю. Пицухина, О. Б. Сопрунова

ВОДНЫЙ РЕЖИМ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ

Исследуется микробиологическое разнообразие и биологическая активность почвенного покрова о. Городской (в черте г. Астрахани). Рассматриваются биологические особенности почв острова, сформированных под действием различных природно-зональных факторов почвообразования. Получены данные по численности и биомассе комплексов бактерий, грибов и актиномицетов. Сопоставление результатов учета микробиологических показателей в почвах ключевых участков в разные периоды исследования выявило закономерность – снижение численности прокариот к осеннему времени года. В соответствии со шкалой для оценки обогащенности почв микроорганизмами по количеству бактерий почвы исследуемых участков можно отнести к субстратам средней обогащенности, и лишь для песчаных дюн острова характерна низкая степень обогащенности. Максимальное значение численности бактерий наблюдается в зоне лесопосадки в весенний период. Исследован уровень ферментативной активности (каталаза, инвертаза, уреазы). Каталазная и инвертазная активность в почвах острова возрастает по мере снижения рекреационной нагрузки и увеличения количества зеленых насаждений. Максимальные значения каталазы, повышающиеся от весны к осени, отмечены на прирусловой гряде и в зоне лесопосадки, что обусловлено наличием растительности на данных участках, оказывающей большое влияние на каталазную активность почв. Наивысшая активность инвертазы отмечается осенью, но числовые значения не столь велики по сравнению с показателями весеннего периода года. Активность уреазы достигает наибольших значений в весенний период года в почве всех изученных ключевых участков. Отмечается вариативность этого признака во всех исследуемых почвах. Существенное влияние на биологическую активность оказывает гидрологический режим. Отмечена тесная связь между численностью бактерий и ферментативной активностью. Исключение составляют песчаные дюны острова.

Ключевые слова: гидролого-геологический режим, остров Городской, микробные сообщества, почвенный покров, численность бактерий, грибов, актиномицетов, ферментативная активность.

Введение

Пойменные почвы, в отличие от зональных, формируются под влиянием не только биоклиматических условий, но и таких факторов, как пойменность и аллювиальность [1, 2]. Гидрологический режим является одним из важнейших экологических факторов в развитии и функционировании почвенного покрова Астраханской области. При этом распределение микроорганизмов по почвенному профилю полностью зависит от свойств и режимов почвенного покрова конкретного участка [3–5].

Существует много работ по изучению формирования микробного сообщества почв под действием природно-климатических условий. Однако эти работы посвящены в основном изучению техногенно загрязненных почв либо окультуренных агропочв [6]. В настоящее время практически отсутствуют полноценные данные по микробиологическому анализу почв, находящихся под воздействием водно-солевого экологического фактора, в том числе в г. Астрахани.

Объект, задачи и методы исследований

Объектом исследования являлись аллювиальные почвы о. Городской [7]. Остров расположен в черте г. Астрахани и имеет аккумулятивное происхождение. Процесс накопления здесь происходил довольно интенсивно – закрепилась пышная луговая и древесно-кустарниковая растительность. Остров ежегодно затопливается во время весенне-летних половодий на срок 1,5–2 месяца, что ежегодно увеличивает площадь почвенного покрова за счет песчаных отложений [8].

При исследовании микробных сообществ почв о. Городской были заложены ключевые участки (участок *A* – прирусловая гряда, участок *B* – кулечная зона, участок *C* – водно-болотное местообитание, участок *D* – песчаные дюны, участок *E* – луг высокого уровня, участок *F* – лесопосадка) (рис. 1).



Рис. 1. Схема о. Городской

При определении численности микроорганизмов использовали люминесцентную микроскопию. Количество микробных клеток (мицелия), содержащихся в 1 г почвы, вычисляли по формуле

$$N = \frac{S_1 \cdot a \cdot n}{v \cdot S_2 \cdot c},$$

где N – число клеток (длина мицелия, мкм) на 1 г почвы; S_1 – площадь препарата, мкм²; a – количество клеток в одном поле зрения (длина мицелия, мкм); n – показатель разведения почвенной суспензии, мл; v – объем капли, наносимой на стекло, мл; S_2 – площадь поля зрения микроскопа, мкм²; c – навеска почвы, г [9].

С учетом замеренного диаметра спор и мицелия грибов биомассу вычисляли по формуле для 1 м грибного мицелия – $0,628r^3 \times 10^{-6}$ г, где r – радиус споры. Для численности бактерий доля среднего квадратического отклонения не превышала 10 %, для мицелия и спор грибов, актиномицетного мицелия – 20 % [10].

Результаты обрабатывали в соответствии со шкалой для оценки обогащенности почв микроорганизмами [11].

Определение ферментативной активности исследуемых почв проводили с использованием методов, изложенных в [12]. Исследовали активность каталазы (фермент класса оксидоредуктаз), инвертазы и уреазы (ферменты класса гидролаз). Для анализа степени обогащенности почв ферментами пользовались оценочной шкалой Д. Г. Звягинцева из расчета на 1 г почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных данных по численности прокариотного комплекса показал, что в соответствии со шкалой для оценки обогащенности почв микроорганизмами [4] по количеству бактерий почвы исследуемых участков можно отнести к субстратам средней обогащенности и лишь для участка *D* (песчаные дюны) характерна низкая степень обогащенности. Максимальное значение численности бактерий наблюдается в зоне лесопосадки *F* в весенний период (2,8 млрд/г). Имеются близкие по значениям численности прокариотного населения исследуемые участки острова (рис. 2): *A* – прирусловая грива, *C* – водно-болотное местообитание, *E* – луг высокого уровня.



Рис. 2. Сезонная динамика численности бактерий в почвах ключевых участков о. Городской, млрд/г

Если сопоставить результаты учета микробиологических показателей в почвах ключевых участков в разные периоды исследования, то можно отметить, что наблюдается закономерность по снижению численности прокариот к осеннему времени года.

Анализ показателей состояния мицелиального комплекса почв о. Городской представлен в таблице.

Показатели состояния мицелиального комплекса почв о. Городской

Сезон года	Микробиологические показатели	Участок						Среднее значение
		A	B	C	D	E	F	
Длина актиномицетного мицелия, м/г								
Весна		335 ± 20	260 ± 15	157 ± 12	305 ± 15	430 ± 22	359 ± 20	307 ± 17
Осень		289 ± 15	254 ± 15	168 ± 12	236 ± 15	405 ± 20	243 ± 17	266 ± 16
Количество грибных спор, млн/г								
Весна		5,5	3,0	5,0	2,9	4,0	4,3	4,2
Осень		4,7	3,1	5,0	2,7	3,2	4,0	3,8
Длина грибного мицелия, м/г								
Весна		135 ± 4	283 ± 7	300 ± 15	202 ± 10	329 ± 15	200 ± 5	242 ± 10
Осень		230 ± 6	305 ± 15	322 ± 20	300 ± 15	407 ± 20	200 ± 5	294 ± 13
Биомасса грибных гиф, м/г								
Общая		0,23	0,22	0,26	0,12	0,24	0,10	0,18

Наименьшее содержание актиномицетного мицелия было отмечено в почве участка C (водно-болотное местообитание) как весной, так и осенью – 157 ± 12 и 168 ± 12 м/г. Максимальная длина актиномицетного мицелия наблюдается на участке E (луг высокого уровня) и составляет 430 ± 22 м/г весной и 405 ± 20 м/г осенью. В целом наблюдается снижение длины мицелия актиномицетов в почвах о. Городской к осеннему периоду.

Наряду с актиномицетным компонентом в исследуемых почвенных образцах одновременно определяли уровень микроскопических грибов. В составе этого компонента почв на участках A, B, D преобладает светлоокрашенный мицелий, в почве участков C, E, F – темноокрашенный (рис. 3). Возможно, содержание темных пигментов обеспечивают защиту от иссушения и повышенного засоления участков, отдаленных от воды. Высокий показатель светлоокрашенного мицелия на участках A (приустьевая грива) и B (култучная зона) связан с постоянным притоком органического вещества из мелких водотоков. Застойность водоемов (мелководность, пониженная гидродинамика, заросли макрофитов) обеспечивает лучшую прогреваемость воды и большее количество питательных веществ.

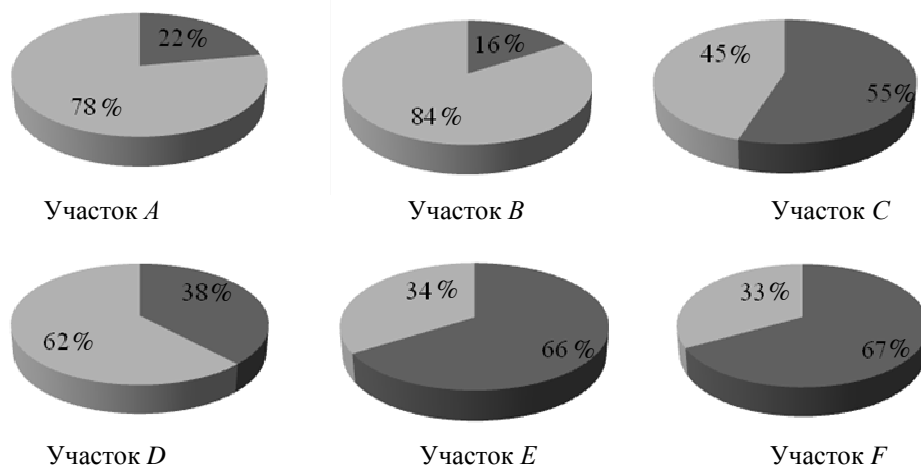


Рис. 3. Соотношение содержания пигментированного мицелия в почвах ключевых участков о. Городской, %

В течение исследуемого периода в почвах происходит изменение численности спор, длины и биомассы мицелия.

Распределение грибных спор по всему острову было равномерным. Наиболее интенсивно процесс спорообразования протекает в почве участков *A* и *C*.

Несмотря на высокую устойчивость грибов к различным воздействиям, уровень их биомассы значительно снижается на участках, подверженных рекреационной нагрузке. Минимальная микробная биомасса, большая часть которой приходится на долю эукариотной составляющей (споры и мицелий грибов), отмечена на незакрепленных песках участка *D*. В почвах лесопосадки и лугов (участки *E* и *F*) доминирует грибной мицелий, что связано с наличием полимерных углеродсодержащих соединений, поставляемых растительными сообществами лугов и древесными культурами лесопосадок.

Показатели ферментативной активности заметно варьируют в зависимости от места отбора проб. Каталазная и инвертазная активность в почвах острова возрастает по мере снижения рекреационной нагрузки и увеличения зеленых насаждений. Так, почва водно-болотных (участок *C*) и песчаных местообитаний (участок *D*) характеризуется как «бедная» и «очень бедная». На участках, заросших древесно-кустарниковой растительностью, каталазная активность средняя (рис. 4). Максимальные значения каталазы, повышающиеся от весны к осени, отмечены на участках *A* (прирусловая грива) и *F* (лесопосадка). Это обусловлено наличием растительности на данных участках, которая оказывает большое влияние на каталазную активность почв.

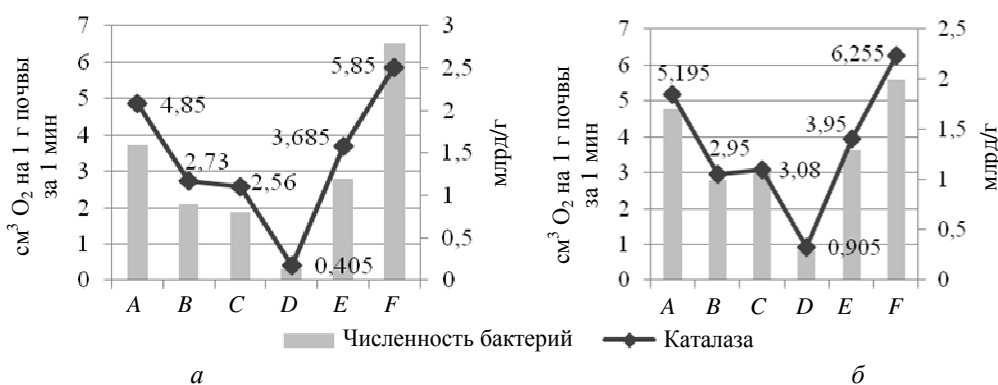


Рис. 4. Зависимость значений каталазы от численности бактерий в почвах ключевых участков о. Городской в 2010 г.:
а – весна; б – осень

Результаты анализа сезонной динамики активности инвертазы в почвах ключевых участков о. Городской показали, что повышенная активность наблюдается в осенний период, но числовые значения не столь велики по сравнению с показателями весеннего периода года (рис. 5).

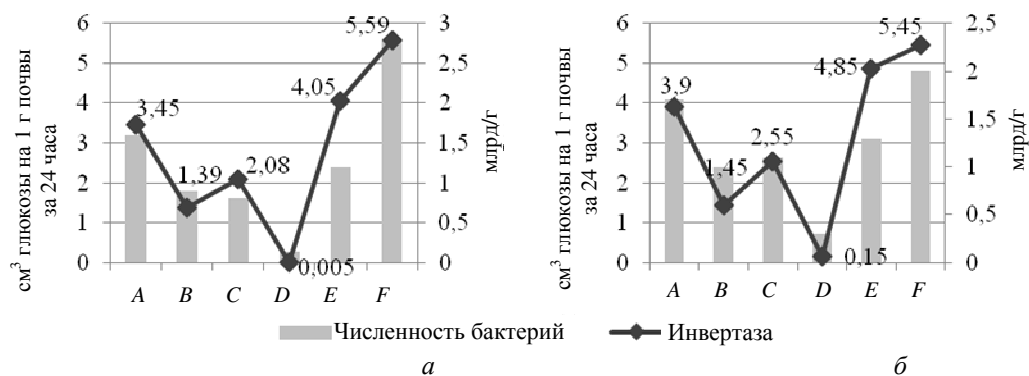


Рис. 5. Зависимость значений инвертазы от численности бактерий в почвах ключевых участков о. Городской в 2010 г.: а – весна; б – осень

При сравнении почвенных образцов ключевых участков о. Городской по данному показателю отмечена максимальная активность инвертазы на участках *F* (лесопосадка) – 5,590 мг глюкозы на 1 г почвы и *E* (луг высокого уровня) – 4,850 мг глюкозы на 1 г почвы, что свидетельствует о большей биологической активности почв данных участков.

Песчаные дюны (участок *D*) отличаются наименьшей ферментативной активностью инвертазы, не превышая 0,150 мг глюкозы на 1 г почвы в осенний период исследований.

Уреазная активность почв ключевых участков также достаточно вариабельна (рис. 6). Отмечена тенденция к снижению активности уреазы от максимальных показателей на участках *E*, *B*, *F* к минимальным на участках *D*, *C*, *A*. Активность уреазы достигает наибольших значений в весенний период года в почвах всех изученных ключевых участков, кроме участка *D*, где регистрируются самые низкие значения активности уреазы (не превышает 0,020 мг N-NH₃ на 1 г почвы осенью). Весной максимальные показатели активности уреазы характерны для участка *E* (1,800 мг N-NH₃ на 1 г почвы), осенью – для участка *B* (1,240 мг N-NH₃ на 1 г почвы).

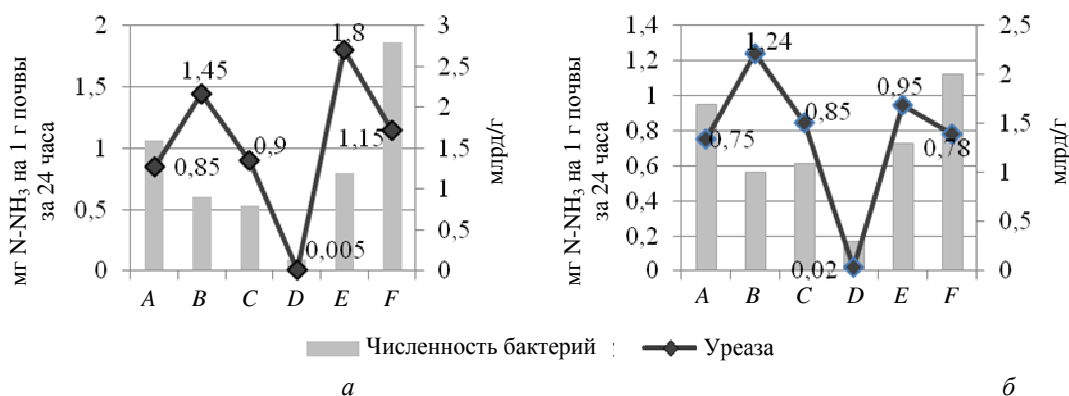


Рис. 6. Зависимость значений уреазы от численности бактерий в почвах ключевых участков о. Городской в 2010 г.: а – весна; б – осень

В целом максимальные значения активности всех трех ферментов характерны для участков *E*, *F*, *A*. Исключение составляют почвенные образцы участка *D*, что может трактоваться как ослабление биологической активности в условиях песчаных почв. Кроме того, на состав почв исследуемого участка влияние оказывает периферийное расположение основного русла р. Вол-

ги, за счет воздействия которого увеличивается промывка почвенного участка. Здесь значительно сильнее проявляются процессы соленакопления за счёт фильтрационного и испаряющего действия речных потоков и близкого залегания грунтовых вод.

При сопоставлении показателей общей численности микроорганизмов и ферментативной активности в исследуемых точках территории острова была обнаружена строгая, почти линейная связь ($R = 0,85$, $p \geq 0,05$), что подтверждает предположения многих исследователей о вкладе микроорганизмов в общий окислительно-восстановительный потенциал почвенной среды.

Заключение

Полученные данные позволяют считать, что почвы о. Городской являются результатом совместного воздействия природно-климатических факторов почвообразования и антропогенного фактора, характерного для городской территории. Сильное влияние на пространственное распределение почвенных микроорганизмов оказывают ежегодные весенне-летние половодья, во время которых происходит затопление большей части острова, повышается уровень грунтовых вод. После окончания половодья под воздействием высоких температур за счет интенсивного испарения влаги в почве наблюдается «соленакопление», что сказывается на биологическом разнообразии всей территории острова.

Таким образом, ведущими факторами формирования микробного комплекса в почвах являются паводковый режим и длительное увлажнение почв в период половодий, ежегодные аллювиальные наносы и повышенный уровень грунтовых вод, которые в совокупности определяют сложный гидролого-геологический режим о. Городской.

Различное сочетание факторов почвообразования обуславливает микробиологические показатели исследуемых почв. Выбранные нами ключевые участки обладают различными показателями и позволяют оценить влияние тех или иных факторов на состояние почв острова в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптева Е. М. Разнообразие микромицетов в почвах пойменных лугов / Е. М. Лаптева, Ф. М. Хабибуллина, Ю. А. Виноградова // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43, вып. 3. С. 200–206.
2. Фокин Д. Ю. Современное состояние почвенно-растительного покрова аллювиальных островов дельты Волги / Д. Ю. Фокин, А. В. Федотова // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер.: Естественные науки. 2006. Вып. 2. С. 145–150.
3. Горчакова А. Ю. Биомониторинг экологического состояния лесных почв республики Мордовия с использованием «водорослевой биопробы» / А. Ю. Горчакова, Н. А. Дуденкова // Биологические науки. 2012. № 4. С. 66–69.
4. Гузев В. С. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов / В. С. Гузев, С. В. Левин // Перспективы развития почвенной биологии. М.: МАКС Пресс. 2001. № 5. С. 178–219.
5. Лысак А. В. Микробные комплексы городских почв / А. В. Лысак, Н. Н. Сидоренко; У. Е. Марфенина; Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. 2000. № 1. С. 80–85.
6. Морозова Н. А. Эколого-биохимические особенности промышленных и рекреационных зон г. Самары: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. А. Морозова. Тольятти, 2011. 19 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // URL.: http://www.standartov.ru/norma_doc/8/8936/index.htm.
8. Пилипенко Т. А. Биоиндикация состояния урбанизированных территорий в аридных условиях (на примере города Астрахани): автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т. А. Пилипенко. Астрахань, 2008. 30 с.
9. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
10. Полянская Л. М. Прямой микроскопический подсчет спор и мицелия грибов в почве / Л. М. Полянская // Изучение грибов в биогеоценозах: тез. конф. Свердловск, 1988. С. 30.
11. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. 1978. № 6. С. 705–713.
12. Казеев К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. Ростов н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 2003. 204 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пищукина Екатерина Юрьевна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; соискатель кафедры «Прикладная биология и микробиология»; molnauka.astu@inbox.ru

Сопрунова Ольга Борисовна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р биол. наук, профессор; зав. кафедрой «Прикладная биология и микробиология»; soprunova@mail.ru.



E. Yu. Pishchuhina, O. B. Soprunova

WATER REGIME AS AN ECOLOGICAL FACTOR OF FORMATION OF MICROBIAL COMMUNITIES IN ALLUVIAL SOILS

Abstract. The paper is devoted to the research of microbial diversity and biological activity of the soil of the island Gorodskoy (within the territory of Astrakhan). The biological characteristics of the island soils, formed under the influence of the bioclimatic and zonal soil-forming factors, are considered. The data on the abundance and biomass of the complexes of bacteria, fungi and actinomycetes are received. When comparing the results of the analysis of microbiological parameters in the soils of the key areas in the different periods of the study, it was found that there is a pattern to reduce the number of prokaryotes for the autumn season. In accordance with the scale for assessment of the enrichment of soils with microorganisms in the number of bacteria, the soils of the studied areas can be referred to the substrates of the average enrichment, and only the sand dunes of the island have a low degree of enrichment. The maximum value of the number of bacteria is observed in the area of forestry during spring period. The level of enzyme activity (catalase, invertase, urease) is examined. Catalase and invertase activity in soils of the island increases alongside with decrease in recreational load and increase of green plants. The maximum values of catalase, rising from spring to autumn, are fixed on the natural levee and forestry area, caused by the presence of vegetation in these areas, which has great influence on soil catalase activity. The maximum invertase activity reaches its highest point in the autumn period, but the numerical values are not so large as compared with the values of the spring season. The urease activity is highest in spring in the soil of all the studied key areas. The variation of this parameter in all the studied soils is fixed. The hydrological regime has a significant impact on the biological activity of soil. It is shown that there is a close relation between a number of bacteria and enzymatic activity. The exceptions are sand dunes of the island.

Key words: hydrological and geological regime, island Gorodskoy, microbial communities, soil cover, number of bacteria, fungi, actinomycetes, enzymatic activity.

REFERENCES

1. Lapteva E. M., Khabibullina F. M., Vinogradova Iu. A. Raznoobrazie mikromitsetov v pochvakh poimennykh lugov [Variability of micromycetes in soils of the bottomland meadows]. *Mikologiya i fitopatoliya*, 2009, vol. 43, iss. 3, pp. 200–206.
2. Fokin D. Iu., Fedotova A. V. Sovremennoe sostoianie pochvenno-rastitel'nogo pokrova alluvial'nykh ostrovov del'ty Volgi [Present state of soil and vegetation coverage of alluvial islands of the Volga Delta]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2006, iss. 2, pp. 145–150.
3. Gorchakova A. Iu., Dudenkova N. A. Biomonitoring ekologicheskogo sostoianii lesnykh pochv respubliky Mordovii s ispol'zovaniem «vodoroslevoi bioprobny» [Biomonitoring of ecological state of forest soils of the Republic of Mordovia using algae bioprobe]. *Biologicheskie nauki*, 2012, no. 4, pp. 66–69.
4. Guzev V. S., Levin S. V. Tekhnogennyye izmeneniya soobshchestva pochvennykh mikroorganizmov [Anthropogenic changes of the community of soil microorganisms]. *Perspektivy razvitiya pochvennoi biologii*. Moscow, MAKS Press, 2001, no. 5, pp. 178–219.
5. Lysak A. V., Sidorenko N. N.; Marfenina U. E., Zviagintsev D. G. Mikrobye komplekсы gorodskikh pochv [Microbial complexes of urban soils]. *Pochvovedenie*, 2000, no. 1, pp. 80–85.
6. Morozova N. A. Ekologo-biokhimicheskie osobennosti promyshlennykh i rekreatsionnykh zon g. Samary [Ecological and biochemical features of industrial and recreational zones in Samara]. Togliatti, 2011. 19 p.

7. GOST 17.4.4.02-84. *Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlia khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [Nature protection. Soils. Methods of selection and preparation of probes for chemical, bacteriological and helminthological analysis]. Available at: http://www.standartov.ru/norma_doc/8/8936/index.htm.

8. Pilipenko T. A. *Bioindikatsiia sostoianiia urbanizirovannykh territorii v aridnykh usloviakh (na primere goroda Astrakhani)*. Avtoreferat dis. kand. biol. nauk [Bioindication of the state of urbanized territories in arid conditions (by the example of Astrakhan). Abstract of dis. cand. biol. sci.]. Astrakhan, 2008. 30 p.

9. Zviagintsev D. G. *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow, Izd-vo MGU, 1991. 304 p.

10. Polianskaia L. M. Priamoi mikroskopicheskii podschet spor i mitseliia gribov v pochve [Direct microscopic calculation of spores and mycelium of fungi in soil]. *Izuchenie gribov v biogeotsenozakh. Tezisy konferentsii*. Sverdlovsk, 1988. P. 30.

11. Zviagintsev D. G. Biologicheskaiia aktivnost' pochv i shkaly dlia otsenki nekotorykh ee pokazatelei [Biological activity of soils and scale for assessment of some parameters]. *Pochvovedenie*, 1978, no. 6, pp. 705–713.

12. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. *Biologicheskaiia diagnostika i indikatsiia pochv: metodologiya i metody issledovaniia* [Biological diagnostics and soil indication: methodology and methods of the investigations]. Rostov-on-Don, Izd-vo Rostov. un-ta, 2003. 204 p.

The article submitted to the editors 11.03.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pishchukhina Ekaterina Yurievna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Applied Biology and Microbiology"; science.astu@inbox.ru.

Soprunova Olga Borisovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Head of the Department "Applied Biology and Microbiology"; soprunova@mail.ru.

