

УДК 632.151:634.0.16

Д.К. Сучков

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (лаборатория прогнозирования биопродуктивности агролесоландшафтов), г. Волгоград, email: suchkov1992@yandex.ru

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И РОСТ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД

Ключевые слова: экономический ущерб, токсичные металлы, уровень загрязнения, анатомическая структура листьев, эколого-экономический аспект.

Техногенная среда является агрессивной по отношению ко всем живым организмам. Эффект негативного влияния антропогенной среды на человека возрастает по мере роста городов и развития промышленных производств. Поэтому актуальными остаются вопросы сохранения городских древесных насаждений, которые являются основным средообразующим компонентом в техногенной среде. В связи с этим необходимо своевременно проводить анализ их жизненного состояния. Цель работы – выявить эколого-экономическое влияние выбросов промышленных предприятий на анатомическое строение и рост древесных пород. В основу статьи положены теоретические и методологические научные работы различных отечественных и зарубежных исследователей. Анатомические изменения в листовом аппарате и у однолетних побегов в зоне влияния промышленных выбросов изучались у древесных пород по методике, разработанной АКХ им. К.Д. Панфилова. При оценке экономического ущерба от загрязнения окружающей среды использовались три основных методических подхода: прямой счет, косвенная оценка и метод укрупненной оценки экономического ущерба (метод расчета по «монозагрязнителю»), который дает приблизительную оценку, но может быть ориентирован для решения общих задач.

D.K. Suchkov

Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Laboratory for Forecasting the Bio-productivity of Agroforest Landscapes), Volgograd, email: suchkov1992@yandex.ru

THE IMPACT OF INDUSTRIAL EMISSIONS ON THE ANATOMICAL STRUCTURE AND THE GROWTH OF TREE SPECIES

Keywords: economic damage, toxic metals, pollution level, anatomical structure of leaves, ecological and economic aspect.

The technogenic environment is aggressive towards all living organisms. The effect of the negative impact of the anthropogenic environment on humans' increases with the growth of cities and the development of industrial production. Therefore, the issues of preserving urban tree plantations, which are the main environmental component in the technogenic environment, remain relevant. In this regard, it is necessary to analyze their life condition in a timely manner. The aim of the work is to identify the ecological and economic impact of industrial emissions on the anatomical structure and growth of tree species. The article is based on theoretical and methodological scientific works of various domestic and foreign researchers. Anatomical changes in the leaf apparatus and in annual shoots in the zone of influence of industrial emissions were studied in tree species according to the methodology developed by the K.D. Panfilov Academy of Agricultural Sciences. When assessing the economic damage from environmental pollution, three main methodological approaches were used: direct counting, indirect assessment and the method of enlarged assessment of economic damage (the method of calculation according to the "mono-pollutant"), which gives an approximate estimate, but can be oriented to solve general problems.

Успешное развития экономики любой страны, в том числе и нашей, в большей степени, определяется состоянием совокупности компонентов природной среды. В такой обстановке необходима реализация государственной политики, нацеленной на обеспечение экологиче-

ской безопасности и устойчивого использования природных ресурсов для нынешнего и будущих поколений.

Промышленные предприятия разного профиля загрязняют окружающую среду отходами производства. Наиболее распространенными газами, загряз-

няющими атмосферу, являются окислы углерода, сернистый газ и сернистый ангидрид. Менее распространены сероуглерод, окислы азота, аммиак, хлор, хлористый водород, фтор, фтористый водород. Газообразные вещества, в частности сернистый газ, вместе с кислородом и углекислым газом проникают в ткани растений через устьица, чечевички, корни. Наиболее чувствительны к загрязнению деревья и кустарники в период активного роста; с уменьшением газообмена, особенно в период покоя, снижается опасность повреждения листовых пород промышленными выбросами.

Методы исследования

В основу статьи положены теоретические и методологические научные работы различных отечественных и зарубежных исследователей. Анатомические изменения в листовом аппарате и у однолетних побегов в зоне влияния промышленных выбросов изучались у древесных пород по методике, разработанной АКХ им. К.Д. Панфилова [1]. Анализ содержания тяжелых металлов в пробах выполнен в сертифицированной лаборатории атомноабсорбционным методом в кислотных вытяжках золы растений на спектрофотометре Shimadzu AA 6800.

На разном расстоянии от объектов загрязнения у разных древесных пород брали листья и однолетние побеги и фиксировали их в растворе спирта, воды и глицерина (2:1:1), строение устьиц изучали путем нанесения на нижнюю сторону листа мазков светлого лака непосредственно на живом объекте в полевых условиях, последующего снятия пленки и просмотра ее под микроскопом. Образцы для анализов взяты в начале мая после полного оформления листовой пластинки, в середине июня и в середине июля. Наиболее четкие изменения в строении отмечены в июле и приводятся в статье.

Поперечные срезы листьев и побегов готовились из зафиксированного материала с помощью бритвы с использованием сердцевинки побега бузины (для закрепления объекта и сохранения целостности анатомического строения ткани) [1,2]. Все необходимые замеры толщины тканей листа производились с помощью помещенного на диафрагму

окуляра окулярмикрометра. Количество устьиц в тканях нижнего эпидермиса и сосудов в однолетних побегах подсчитывалось в поле зрения микроскопа. По каждому признаку производилось не менее 10 замеров. В работе использовался микроскоп МБИ-11 № 690180, увеличение 10х2,5х10 (в 250 раз).

При оценке экономического ущерба от загрязнения окружающей среды использовались три основных методических подхода: прямой счет, косвенная оценка и метод укрупненной оценки экономического ущерба (метод расчета по «монозагрязнителю»), который дает приблизительную оценку, но может быть ориентирован для решения общих задач [3,4].

Результаты и их обсуждения

Величина ущерба от загрязнения окружающей среды непосредственно влияет на объём национального дохода. Вследствие загрязнения окружающей природной среды величина национального дохода уменьшается за счёт снижения потенциала производства. При этом часть национального дохода, идущего на потребление и накопление, расходуется на ликвидацию отрицательных последствий от загрязнения. Таким образом, на народнохозяйственном уровне он представляет собой сумму недополученного национального дохода плюс перераспределенную часть потребления, а также использованную на компенсацию воздействия загрязнения окружающей среды часть накопления [5].

Изучив постановление Правительства РФ от 8.05.2007 г. № 273 «Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства» утверждены таксы для исчисления размера ущерба, причиненного лесным насаждениям или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам вследствие нарушения лесного законодательства, в том числе выбросов промышленных предприятий, нами было решено провести следующее исследование. Для выявления эколого-экономического влияния выбросов промышленных предприятий на анатомическом строении деревьев и кустарников нами была выбрана часть придорожной полосы между

г. Волгоградом и р.п. Райгород длиной 15 км, находящаяся в зоне выбросов трех крупных промышленных предприятий – теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), завода биовитаминных кормов (БВК) и АО «Каустик». Лесная полоса 1970 года посадки состоит из 12 рядов, размещенных лентами, по 3 ряда в ленте, между лентами разрывы шириной 16 м, между рядами в ленте 2,5-4 м. Основная порода – вяз приземистый, сопутствующие – ясень ланцетный (*Fraxinus lanceolata*), клен ясенелистный (лат. *Ácer negúndo*), акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.), из кустарников смородина золотая (лат. *Ribes aureum*), жимолость татарская (лат. *Lonicera tatárica*). В лесополосе ведется регулярный механизированный уход за почвой, проводятся рубки ухода, обрезка нижних ветвей на высоту 1,5 м [6].

Исследования проведены на разном расстоянии от БВК: в 10 км, возле р.п. Райгород (контроль), в 5, 1, 0,5 км, непосредственно у БВК и в наиболее загрязненном месте между БВК, ТЭЦ и заводом АО «Каустик».

По мере приближения к промышленным объектам количество устьиц в поле зрения микроскопа заметно увеличивается – от 60 до 92, а размеры устьиц уменьшаются. Их четкие очертания часто смазываются, становятся размытыми. В 5 км от БВК, в 9-м ряду от автотрассы, где отрицательное влияние транспортных выбросов несколько снижается предыдущими рядами деревьев, количество устьиц в поле зрения микроскопа составляет всего 40. При этом они имеют крупные размеры. В степных засушливых условиях юго-востока деревья с названными анатомическими показателями можно отнести к 1-й группе жизнеспособности, т. е. деревья здоровые, с хорошо развитой кроной, без признаков усыхания. Как известно, листья древесных растений обладают определенными адсорбционными свойствами, благодаря которым улучшается состояние атмосферы мегаполиса. В то же время происходят изменения листьев древесных растений, связанных с негативным воздействием выхлопных газов, приводящие к их различным заболеваниям. Результаты замеров по вязу приземистому представлены в таблице 1.

Заметное влияние выбросов промышленных объектов на деревья вяза приземистого наблюдается на участке, расположенном в 0,5 км от БВК, и усиливается по мере приближения к нему. Количество устьичных клеток в нижнем эпидермисе листьев возрастает, они становятся мельче, у БВК их число увеличивается до 72, а в зоне действия трех промышленных объектов: БВК, ТЭС АО «Каустик», – возрастает до 92. При этом в два раза возрастает коэффициент отношения столбчатой паренхимы к губчатой, за счет уменьшения второго слоя, и делается тоньше листовая пластинка (на 8%), что говорит о снижении жизненного тонуса древесных растений, находящихся в зоне отрицательного влияния выбросов промышленных предприятий.

Подобная зависимость наблюдается у других пород: ясень ланцетный и клен ясенелистный (табл. 2).

Аналогичная картина прослеживается при анализе данных, полученных при изучении тканей однолетних побегов (табл. 3).

Главный структурный элемент – камбий, функционирующий в течение всей жизни дерева. Он формирует элементы флоэмы и ксилемы, причем последней во много раз больше, чем элементов флоэмы [7]. Таким образом, побеги в основном состоят из древесины. Толщина годовичного кольца ксилемы, флоэмы, ширина камбиального слоя уменьшаются при изменении качественного состояния древесных растений. Толщина названных тканей с ухудшением условий произрастания, по мере приближения к промышленным предприятиям, уменьшается в 2,5-3 раза и наименьшей становится в зоне влияния промышленных выбросов трех предприятий: БВК, ТЭЦ и ПО «Каустик». Количество сосудов в поле зрения микроскопа увеличивается с приближением к промышленному объекту.

В адаптивных реакциях задействованы различные метаболиты, в том числе фенольные соединения, представителями которых являются танины. Содержание танинов в листьях мы сравнивали у растений, произрастающих в разных типах насаждений (таблица 4). Исследуемые территории испытывают влияние техногенной нагрузки разной интенсивности.

Таблица 1

Влияние выбросов промышленных объектов на состояние вяза приземистого по анатомическим показателям листьев

Расстояние от БВК, км	Ряд	Количество устьиц в поле зрения микроскопа	Размеры устьиц, число делений окулярмикрометра		Толщина, число делений окулярмикрометра				Коэффициент отношения столбчатой паренхимы к губчатой
			Длина	Ширина	Листа	Наружного слоя эпидермиса	Палисадной паренхимы	Губчатой паренхимы	
10	1	60	6,5	5,0	28	4	7	14	0,50
	6	60	7,0	6,0	29	4	8	12	0,66
5	6	60	6,5	5,0	28	4	9	11	0,80
	9	40	9,0	6,5	28	4	8	12	0,70
1	1	60	6,5	3,5	26	4	9	11	0,80
	9	60	6,7	6,0	27	4	9	12	0,75
0,5	1	64	6,0	4,0	24	5	9	8	1,10
	9	60	6,0	5,0	26	4	9	10	0,90
У БВК	6	72	6,0	4,0	22	5	10	7	1,40
	4	84	6,0	5,0	23	6	10	7	1,40
Между БВК, ТЭЦ и АО «Каустик»	9	92	6,0	5,0	23	5	10	7	1,40
	1	84	6,0	5,0	22	5	10	7	1,40

Таблица 2

Влияние выбросов промышленных объектов на состояние ясеня ланцетного и клена ясенелистного по анатомическим показателям листа

Порода	Расстояние от БВК, км	Ряд	Количество устьиц в поле зрения микроскопа	Размеры устьиц, число делений окулярмикрометра	
				Длина	Ширина
Ясень ланцетный*	10	1	72	6,0	3,5
То же (муж.)		9	68	6,0	3,5
То же (жен.)		9	56	5,0	3,0
Ясень ланцетный	5	1	80	5,0	3,0
То же (муж.)		8	80	5,0	3,0
То же (жен.)		8	76	5,0	3,0
Клен ясенелистный	1	5	92	4,0	3,0
Ясень ланцетный	У БВК	1	84	4,4	3,0
Клен ясенелистный	0,5	8	20	3,5	2,5
То же (муж.)	Между БВК, ТЭЦ и АО «Каустик»	7	74	3,0	2,5
То же (жен.)		8	96	3,0	2,5

Примечание: в 1-м ряду у ясеня ланцетного разница между женскими и мужскими особями не отмечена.

Таблица 3

Влияние выбросов промышленных объектов на состояние вяза приземистого по анатомическим показателям побегов

Расстояние от БВК, км	Ширина тканей, число делений окулярмикрометра			Количество сосудов в поле зрения микроскопа	Диаметр сосудов, число делений окулярмикрометра		
	Ксилема	Флоэма	Камбиальный слой		Среднее	Минимальное	Максимальное
10	95	21	6,0	9	9	8	11
5	115	27	6,0	11	8	5	11
0,5	65	19	5,0	11	7	6	8
У БВК	50	16	3,0	20	5	4	6
Между БВК, ТЭЦ и АО «Каустик»	30	8	2,5	24	5	4	6

Таблица 4

Динамика содержания танинов в листьях древесных растений

Тип насаждений	Месяц	Вид растения		
		Ясень ланцетный	Береза повислая	Клен ясенелистный
ЗУК ¹	Июнь	2,16±0,19 ⁴ 1,74 ... 2,58 ⁵	2,78±0,38 1,95 ... 3,62	3,02±0,45 2,03 ... 4,01
	Июль	4,32±0,08 4,15 ... 4,50	5,69±0,45 4,70 ... 6,68	5,39±0,36 4,60 ... 6,19
	Август	5,29±0,78 3,58 ... 7,00	6,26±1,07 3,91 ... 8,62	5,42±0,82 3,63 ... 7,22
СЗЗ ²	Июнь	1,87±0,10 1,65 ... 2,10	2,45±0,27 1,85 ... 3,05	3,11±0,47 2,08 ... 4,15
	Июль	4,94±0,08 4,77 ... 5,11	6,30±0,46 5,28 ... 7,33	5,29±0,16 4,93 ... 5,64
	Август	5,89±0,35 5,11 ... 6,66	7,09±0,71 5,53 ... 8,65	5,97±0,37 5,15 ... 6,80
МП ³	Июнь	2,10±0,09 1,90 ... 2,30	2,85±0,16 2,50 ... 3,22	3,27±0,28 2,64 ... 3,89
	Июль	5,10±0,10 4,88 ... 5,33	5,89±0,18 5,48 ... 6,29	5,38±0,08 5,21 ... 5,55
	Август	5,67±0,29 5,03 ... 6,31	6,37±0,49 5,28 ... 7,46	6,00±0,38 5,16 ... 6,84

Примечание: ЗУК¹ – зоны условного контроля; СЗЗ² – санитарно-защитные зоны промышленных предприятий; МП³ – магистральные посадки; 2,16 ± 0,19⁴ – среднее значение показателя ± стандартное отклонение; 1,73 ... 2,58⁵ – доверительный интервал для среднего значения.

У ясеня ланцетного в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках в июле содержание 140 танинов было достоверно выше, чем у контрольных особей в парковой зоне. При этом наиболее значительными различия были в условиях интенсивной техногенной нагрузки магистральных посадках и достигали 0,78. Также мы проанализировали динамику содержания танинов

в листьях исследуемых видов в каждом из типов насаждений. У всех изучаемых видов независимо от типа насаждения мы наблюдали сходную реакцию достоверного повышения содержания танинов в течение всего периода вегетации. При этом максимальное содержание танинов в листьях было отмечено у березы повислой в августе в СЗЗ промышленных предприятий 7,09 мг/г сух. вещества.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в городских насаждениях Волгограда

№ п/п	Типы насаждений	Всего видов	Содержание химических элементов, мг/кг сух. в-ва							
			Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
1	Рядовые городские посадки	45	11,51	3,01	1,41	0,93	68,03	9,68	130,1	834
2	Внутриквартальное озеленение	37	12,47	2,83	1,52	0,91	63,86	8,27	119,6	577
3	Скверы	47	14,35	3,04	1,39	0,89	76,02	9,54	149,8	711
4	Старые сады-скверы	18	11,63	1,85	1,47	0,63	39,88	8,47	68,3	418
5	Городские парки	31	7,28	2,14	1,38	1,10	59,67	7,47	130,5	392
6	Внутригородские рекреационные леса	36	6,00	2,33	0,97	0,77	39,84	7,61	120,7	341
В целом по городским насаждениям		81	12,47	2,54	1,41	1,05	63,26	8,74	138,6	572
Локальный экологический фон		78	5,88	2,14	1,58	1,01	31,52	6,33	151,2	144

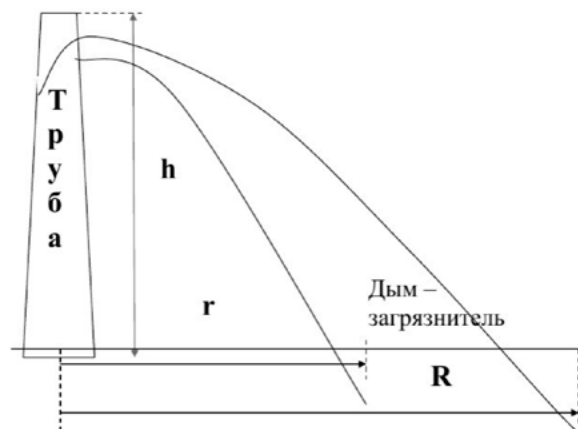


Рис. 1. Схема выброса загрязнения из трубы в зоне активного загрязнения

Также, нами были проведены исследования содержания тяжелых металлов в древесных и кустарниковых видах, формирующих разные типы городских насаждений. Данные приведены в таблице 5.

Анализ табличных данных свидетельствует о существенном накоплении городской растительностью Fe ($K_k = 4,1$), Zn ($K_k = 2,1$), Pb ($K_k = 1,9$) и менее значимо – Cu ($K_k = 1,4$) и Ni ($K_k = 1,3$). Геохимическая ассоциация этих металлов является основным загрязнителем зеленых насаждений г. Волгограда. Судя по приведенным данным, растительность всех типов городских насаждений интенсивно накапливает железо, особенно растения рядовых посадок и скверов – до 5–6 раз выше фоновых значений.

Суммарная концентрация пяти металлов – загрязнителей городской растительности Волгограда в зависимости от типа насаждений представляет следующий убывающий ранжированный ряд: рядовые насаждения ($Z_c = 13,4$) → скверы (13,0) → внутриквартальное озеленение (10,8) → старые сады (8,5) → городские парки (8,3) → внутригородские рекреационные леса (7,0). Полученный ряд интенсивности загрязнения городских насаждений в общих чертах близок, но по некоторым типам посадок отличается от приведенного выше ряда антропогенно-техногенных нагрузок и практически идентичен установленному ранее ряду суммарного загрязнения городских почв [8].



Рис. 2. Экономические методы экологического регулирования

Растительность, как основной средо-стабилизирующий фактор, несомненно, оказала влияние на состояние биотических компонентов урбоэкосистем и внесла коррективы в баланс металлов в сравниваемых типах насаждений. На рисунке 1 представлена схема выброса загрязнения из трубы в зоне активного загрязнения.

Экономические последствия загрязнения окружающей среды заключаются в дополнительных затратах в сферах материального производства, непроду-ктивной сферы и личного потребления

из-за негативного воздействия загряз-ненной окружающей среды [9].

Негативное воздействие загрязнен-ной окружающей среды вызывает сле-дующие виды затрат: в первую группу входят затраты, направленные на пре-дотвращение негативного воздействия окружающей среды (если такое предот-вращение технически возможно); во вто-рую группу входят затраты, вызванные негативным воздействием загрязненной окружающей среды. Определение эко-номического ущерба основано на сто-

имостном выражении потерь качества среды и экологических поражений.

Экономические методы экологического регулирования показаны на рисунке 2.

Основные задания оценки экономического ущерба определяются существующими общественными отношениями и конкретизируются в зависимости от реального состояния окружающей природной среды [5,10]. Обобщающими заданиями оценки экономического ущерба являются:

- Оценка экономического ущерба окружающей природной среде необходима для внесения в экологический паспорт промышленного предприятия, что характеризует степень воздействия предприятия и пригодность природной среды для удовлетворения потребностей других субъектов.

- Применение оценки экономического ущерба необходимо в целях сопоставления размеров экономического ущерба, наносимого предприятием атмосферному воздуху, водным и земельным ресурсам.

- С развитием рыночных отношений заданием оценки экономического ущерба является регулирование отношений промышленного предприятия с природным объектом при купле/ продаже, приватизации, аренде, кредитовании предприятия.

- Заданием оценки экономического ущерба является определение плановых и фактических показателей, которые соответствуют лимитному и фактическому объему выбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду.

Выводы

Влияние выбросов промышленных предприятий начинает сказываться на анатомической структуре листа на расстоянии 0,5 км от промышленного объекта и достигает максимума на участке с повышенной загазованностью (между заводом БВК, ТЭЦ и ПО «Каустик»). Также, считаем, что эффективность действия так называемых естественных «фильтров», зависит от разнообразных свойств растительного покрова, участвующих в адсорбции и поглощении тяжелых металлов, которое во многом определяется физико-химическими свойствами элементов, проникающих внутрь ассимилирующих органов, и работой устьичного аппарата листовой поверхности. Таким образом, можно заключить, что более низкие баллы жизненного состояния отмечены у растений, произрастающих в пределах примагистральных насаждений. Увеличение содержания танинов в течение периода вегетации является реакцией характерной для всех изучаемых видов древесных растений.

В настоящее время мало оснований надеяться, что человечество сможет в исторически короткий срок перестроить производство и свой образ жизни в соответствии с экологическими требованиями. Поэтому необходимо использовать весь арсенал средств, включая различные законодательные методы регулирования поведения и хозяйственной деятельности людей, чтобы сделать их экологически корректными.

Библиографический список

1. Методические указания по диагностике качественного состояния древесных растений / АКХ им. К.Д. Памфилова. М., 1977. С. 15-43.
2. Бабошко О.И. Дендрометрия: курс лекций для студентов направления «Ландшафтная архитектура». НИМИ ДГАУ. Новочеркасск, 2014. 77 с.
3. Паулюкявичус Г.Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафтов. М.: Наука, 1989. 215 с.
4. Космина Р.В., Чичекли М. Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей среды // Актуальные исследования. 2021. № 51 (78). С. 90-94.
5. Золкин А.Л., Чистяков М.С., Сучков Д.К. Влияние цифрового сегмента реиндустриализации на аграрный сектор национальной экономической системы // Управленческий учет. 2021. № 5-2. С. 326-333.
6. Рулев А.С., Рулева О.В., Сучков Д.К. Почвенно-таксационная оценка модульных полей защитных лесных полос // Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 83-92. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2021.1.02.

7. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам / Ж.З. Гуральчук // Физиология и биохимия культ, растений. 1994. Т. 26, № 2. С. 107-117
8. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
9. Калашникова З.В. Накопление кобальта и кадмия в урожае некоторых сельскохозяйственных культур при облучении растений на почвах, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимия. 1991. № 9. С. 77-82.
10. Сучков Д.К., Рулева О.В. Ландшафтно-географический подход к оценке состояния насаждений в балке «Отрадной» // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 1. С. 174-194. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-174-194