

СТАТЬИ

УДК 635.563:628.381:543.97

DOI 10.17513/use.38107

**ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД
БОЛЬШОГО И МАЛОГО НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
НА КРЕСС-САЛАТЕ ДЛЯ ИХ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ****Зайцева О.В., Екимова Н.А., Севостьянов С.М., Дёмин Д.В.***ФИЦ Пуцинский научный центр биологических исследований Российской академии наук –
особое подразделение Института фундаментальных проблем биологии
Российской академии наук, Пуцино, e-mail: Sevost2000@rambler.ru*

Осадки сточных вод (ОСВ) представляют собой суспензии, образующиеся в процессе очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод. ОСВ являются источником макро- и микроэлементов, а также целого спектра минеральных и органических веществ, что делает их ценным сырьем для удобрения. Однако составы (физический, химический и биологический) осадков разных населенных пунктов могут значительно отличаться. Цель – оценить токсичность водных вытяжек осадков сточных вод с территорий, отличающихся по осуществляемой на них человеческой деятельности, для кресс-салата (*Lepidium sativum*). Тестировали осадки, доставленные с Люберецких очистных сооружений г. Москвы (12,5 млн чел., 2561,5 км²) и г. Ступино (66075 чел., 35,5 км², расположен в 99 км к югу от Москвы). Осадки сточных вод крупного города оказали токсичное действие на семена и проростки кресс-салата, а значит, попадание их в окружающую среду в исходном состоянии является опасным, требуются мероприятия по их переработке. ОСВ малого населенного пункта не только не ухудшили рост и развитие растений на ранней стадии онтогенеза, но и стимулировали их. Несмотря на отсутствие информации о химическом составе осадков, биотестирование быстро показывает их токсичность для растений, в частности кресс-салата, что является безусловным плюсом при ограниченности исследователя во времени, ресурсах, а также является важным при принятии решений о дальнейшем использовании или утилизации.

Ключевые слова: токсичность, биотестирование, осадки сточных вод, кресс-салат (*Lepidium sativum*)**ASSESSMENT OF TOXICITY OF WASTEWATER SEWAGE
SLUDGE FROM LARGE AND SMALL SETTLEMENTS
ON GARDEN CRESS FOR SAFE USE****Zaytseva O.V., Ekimova N.A., Sevostyanov S.M., Demin D.V.***Puschino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences –
separate subdivision of the Institute of Fundamental Problems of Biology
of the Russian Academy of Sciences, Puschino, e-mail: Sevost2000@rambler.ru*

Sewage sludge (WWS) is a suspension formed in the process of cleaning domestic and mixed wastewater. WWS are a source of macro- and microelements, as well as a whole range of mineral and organic substances, which makes it a valuable raw material for fertilizer. However, the compositions (physical, chemical and biological) of sediments from different settlements can differ significantly. Objective: to evaluate the toxicity of water extracts of sewage sludge from areas differing in human activities carried out on them for Garden cress (*Lepidium sativum*). We tested sediments delivered from the Lyubertsy wastewater treatment facilities in Moscow (12.5 million people, 2561.5 km²) and the city of Stupino (66075 people, 35.5 km², located 99 km south of Moscow). The sewage sludge of a large city had a toxic effect on the seeds and seedlings of the Garden cress, which means that its release into the environment in its original state is dangerous and measures for their processing are required. The WWS of a small settlement not only did not impair the growth and development of plants at an early stage of ontogenesis, but also had a stimulating effect. Despite the lack of information on the chemical composition of sediments, biotesting gives a quick answer about their toxicity to plants, in particular Garden cress, which is an absolute plus when the researcher is limited in time, resources, and is also important when deciding on further use or disposal.

Keywords: toxicity, biotesting, sewage sludge, Garden cress (*Lepidium sativum*)

Осадки сточных вод (ОСВ) – суспензии, образующиеся в процессе очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод. Выбор способа использования осадков или необходимости захоронения базируется на достоверном определении макро-компонентного и примесного состава, класса опасности для окружающей среды, санитарно-микробиологических, санитарно-паразитологических показателей и других свойств

осадков и определения соответствия требованиям нормативной документации [1].

ОСВ являются источником макро- и микроэлементов, а также целого спектра минеральных и органических веществ, что делает их ценным сырьем для удобрения [2]. Однако составы (физический, химический и биологический) осадков разных населенных пунктов могут значительно отличаться друг от друга и зависят прежде всего

от содержащихся в сточных водах веществ, источником которых являются жилые дома, общественные заведения, промышленность, сельское хозяйство. Хозяйственно-бытовая и иная человеческая деятельность может стать причиной бактериального и гельминтного заражения осадков, появления высокотоксичных компонентов, в том числе тяжелых металлов, количество которых в некоторых случаях значительно превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для почвы [1, 2]. Одним из способов быстро оценить потенциальную опасность объекта являются методы биотестирования, в частности на высшем растении кресс-салате (*Lepidium sativum*) [3].

Цель исследования – оценить токсичность водных вытяжек осадков сточных вод с территорий, отличающихся по осуществляемой на них человеческой деятельности, для кресс-салата (*Lepidium sativum*).

В задачи входило: 1) определение фитотоксичности выбранных ОСВ для высшего растения кресс-салата, 2) оценка метода биотестирования на кресс-салате для установления токсичности вещества.

В качестве опытных образцов были использованы осадки, доставленные с Люберецких очистных сооружений г. Москвы (12,5 млн чел., 2561,5 км²) и г. Ступино (66075 чел., 35,5 км², расположен в 99 км к югу от Москвы).

Материалы и методы исследования

1. Определение фитотоксичности для кресс-салата методом биотестирования [3].

Ход работы:

– Приготовить водную вытяжку осадка сточных вод в соотношении субстрата к воде 1:5.

– Перенести суспензию в чашку Петри слоем 4 мм и накрыть ее фильтровальной бумагой.

– На фильтровальную бумагу равномерно распределить 30 семян кресс-салата.

– Закрыть чашку Петри крышкой и инкубировать при температуре 22±1°С. После инкубации подсчитать количество проростков в контрольной и опытной чашках и вычислить процент снижения числа проросших семян в опытной чашке по сравнению с контрольной. Разница в 10% не принимается во внимание, опытный образец считать экологически чистым. Снижение числа проростков в исследуемом варианте по сравнению с контрольным на 10–30% говорит о слабой фитотоксичности. Разница от 30 до 50% указывает на среднюю

степень фитотоксичности почвы, а выше 50% – свидетельствует о высокой (недопустимой) степени фитотоксичности почвы.

– Измерить длины корня и проростка, сравнить между собой данные по опытным образцам и контролю.

2. Статистическая обработка данных.

Для сравнения морфологических показателей (длины корня и побега) были вычислены такие показатели, как среднее арифметическое, мода, стандартное отклонение, U-критерий Уилкоксона (Манна – Уитни).

– Мода [4] – значение признака, которое имеет наибольшую частоту в статистическом ряду распределения.

Модальный класс (M_o) – класс, который представлен максимальной численностью.

Значение признака, которое находится в центре вариационного ряда, отражает наиболее типичного представителя в данной совокупности.

Мода внутри модального класса вычисляется по формуле

$$M_o = X_{M_o} + k \frac{f_{M_o} - f_{M_{o-1}}}{2f_{M_o} - f_{M_{o-1}} - f_{M_{o+1}}}, \quad (1)$$

где X_{M_o} – нижняя граница модального класса;

k – межклассовый интервал (ширина класса);

$f_{M_o}, f_{M_{o-1}}, f_{M_{o+1}}$ – частоты в модальном, предыдущем и следующем за модальным классом, который определяется по наибольшей частоте.

– Для проверки нулевой гипотезы использовался U-критерий Уилкоксона (Манна – Уитни).

Нулевая гипотеза [4] – это гипотеза о том, что две совокупности, которые сравниваются по одному или нескольким признакам, не отличаются. Другими словами, исследуемый фактор не влияет на анализируемые совокупности.

Противоположной нулевой гипотезе (H_0) является альтернативная гипотеза (H_A). При ее принятии делается вывод о том, что исследуемый фактор оказывает существенное влияние и анализируемые выборки существенно различаются по каким-либо параметрам.

U-критерий Уилкоксона (Манна – Уитни) – ранговый критерий для независимых выборок.

Этапы расчета [4]:

а) расположить варианты двух выборок в общий ряд по возрастанию и пронумеровать члены ряда от 1 до $N = n_1 + n_2$;

б) отдельно для каждой выборки найти суммы рангов R и определить величины по формулам

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}, \quad (2)$$

где U – U-критерий Уилкоксона (Манна – Уитни);

R_1 – сумма рангов первой сравниваемой выборки;

n_1 – объем первой выборки.

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}, \quad (3)$$

где U – U-критерий Уилкоксона (Манна – Уитни);

R_2 – сумма рангов второй сравниваемой выборки;

n_2 – объем второй выборки.

с) в качестве U-критерия используется меньшая величина U_{ϕ} , которая сравнивается с табличным значением для n_1, n_2 и принятого уровня значимости ($p = 0,05$). Если $U_{\phi} \leq U_{кр}$, нулевая гипотеза отвергается (различия достоверны).

– среднее арифметическое, стандартное отклонение, U-критерий Уилкоксона (Ман-

на – Уитни), мода рассчитывались в программе Excel с помощью пакета «Анализ данных». Визуализация данных проводилась в программе R [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Данные, полученные в результате эксперимента по тестированию осадка сточных вод Люберецких очистных сооружений на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum*), по длине корня представлены в табл. 1.

В среднем в опытных чашках с водными вытяжками осадка сточных вод по сравнению с контрольными (дистиллированная вода) отмечено достоверное (расчет U-критерия) уменьшение длины корней кресс-салата более чем на 80% во всех трех повторностях, что свидетельствует о высокой токсичности исследуемого осадка.

Та же закономерность отмечается и для длины проростка, а именно достоверное уменьшение показателя в опытных чашках в среднем на 40% (табл. 2).

Данная разница хорошо видна на диаграммах по длине корня (рис. 1).

Таблица 1

Длина корня кресс-салата для осадка сточных вод Люберецких очистных сооружений

Вариант	Длина корня, мм	Среднее арифм., мм	Мода, мм	Среднее арифм. моды, мм	Число проросших семян	Среднее
1.1 Контроль	52,30±19,91*	57,97	56,25	71,08	27	28,33
1.2 Контроль	58,93±21,83		72,00		29	
1.3 Контроль	62,69±30,11		85,00		29	
2.1 ОСВ	9,17±8,08	8,90	5,71	8,13	6	5,33
2.2 ОСВ	8,67±6,51		6,67		3	
2.3 ОСВ	8,86±3,89		12,00		7	

Примечание: * – среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

Таблица 2

Длина проростка кресс-салата для осадка сточных вод Люберецких очистных сооружений

Вариант	Длина проростка	Среднее арифм., мм	Мода, мм	Среднее арифм. моды, мм	Число проросших семян	Среднее
1.1 Контроль	16,15±3,82*	16,33	17,69	17,86	27	28,33
1.2 Контроль	16,72±4,23		18,04		29	
1.3 Контроль	16,11±4,47		17,86		29	
2.1 ОСВ	9,17±4,75	9,52	7,50	9,10	6	5,33
2.2 ОСВ	10,67±4,93		11,67		3	
2.3 ОСВ	8,71±3,09		8,13		7	

Примечание: * – среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

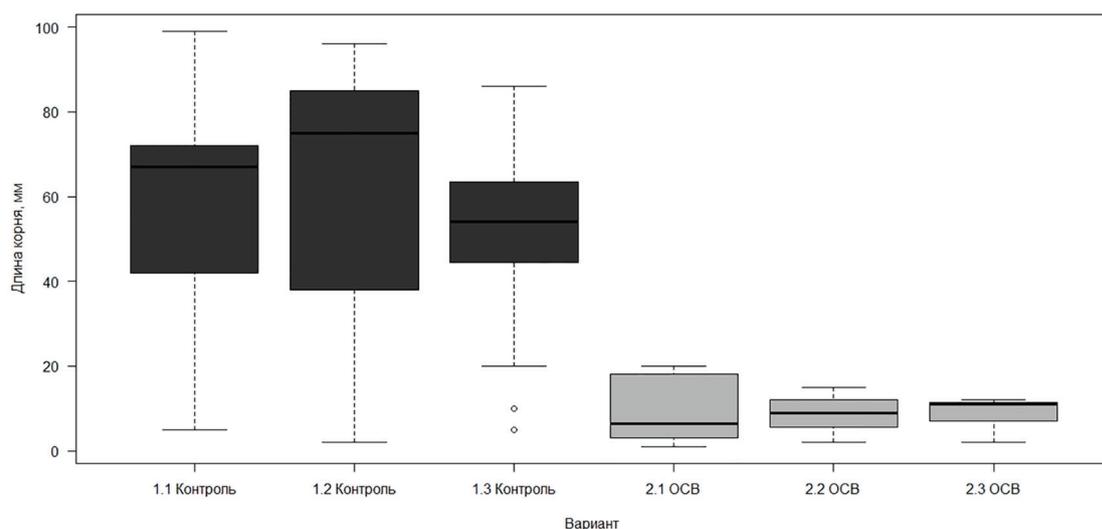


Рис. 1. Длина корня на водной вытяжке ОСВ Люберецких очистных сооружений

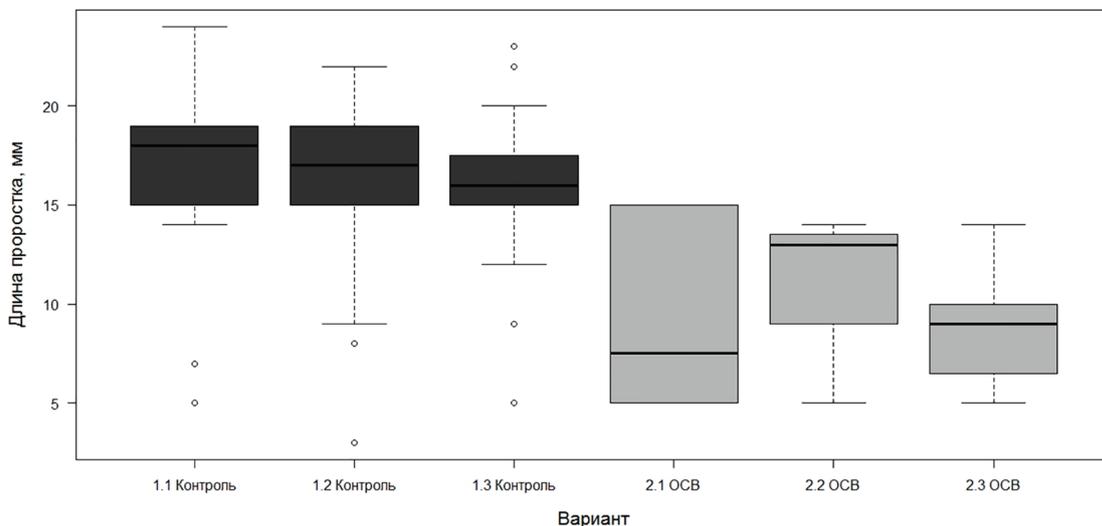


Рис. 2. Длина проростка на водной вытяжке ОСВ Люберецких очистных сооружений

Достоверное уменьшение показателя по длине побегов также наглядно видно на рис. 2.

Всхожесть семян в опытной группе по сравнению с контрольной уменьшилась более чем на 80% и составила в среднем всего 17% (5 проросших семян из 30), что, согласно выбранной методике, сигнализирует о высокой (недопустимой) фитотоксичности водной вытяжки осадка сточных вод.

Результаты биотестирования на осадках сточных вод малого населенного пункта совершенно другие. Длина корня кресс-салата в варианте с выдержанным осадком досто-

верно уменьшается по сравнению с контролем (табл. 3).

Водная вытяжка свежего осадка не влияет на длину корня, нет достоверного отличия, что видно на рис. 3.

В то же время получено достоверное увеличение длины проростков, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния на рост побегов водной вытяжки осадка сточных вод малого населенного пункта (табл. 4).

Это хорошо видно на диаграмме (рис. 4).

Практически во всех повторностях вариантов водных вытяжек ОСВ малого населенного пункта и контроля отмечена стопроцентная всхожесть семян.

Таблица 3

Длина корня кресс-салата для осадка сточных вод Ступино

Вариант	Длина корня, мм	Среднее арифм., мм	Мода, мм	Число проросших семян	Среднее
1.1 Контроль	69,80±24,85*	73,93±21,65	67,50	30	29,67
1.2 Контроль	70,83±19,68		78,00	29	
1.3 Контроль	81,07±18,74		67,14	30	
2.1 ОСВ св.	52,76±18,59	54,85±17,43	36,00	29	29,67
2.2 ОСВ св.	56,63±14,29		57,27	30	
2.3 ОСВ св.	55,10±19,39		64,44	30	
3.1 ОСВ выд.	31,00±11,28	29,40±13,08	27,69	29	29,67
3.2 ОСВ выд.	26,97±15,21		27,50	30	
3.3 ОСВ выд.	30,30±12,47		26,43	30	

Примечание: «ОСВ св.» – свежий осадок, «ОСВ выд.» – выдержанный осадок, * – среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

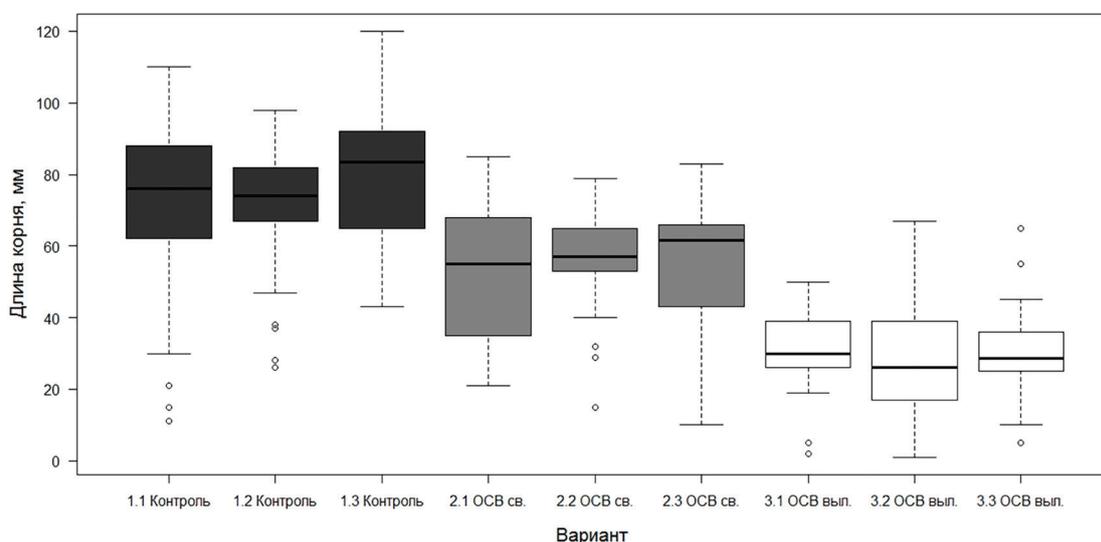


Рис. 3. Длина корня на водной вытяжке ОСВ Ступино

Таблица 4

Длина проростка кресс-салата для осадка сточных вод Ступино

Вариант	Длина корня, мм	Среднее арифм., мм	Мода, мм	Число проросших семян	Среднее
1.1 Контроль	22,47±5,27	23,60±4,14	24,50	30	29,67
1.2 Контроль	23,76±3,47		25,42	29	
1.3 Контроль	24,57±3,21		24,33	30	
2.1 ОСВ св.	32,14±5,79	31,13±5,22	35,77	29	29,67
2.2 ОСВ св.	29,70±4,95		31,92	30	
2.3 ОСВ св.	31,60±4,75		33,85	30	
3.1 ОСВ выд.	32,48±7,93	30,81±7,36	37,00	29	29,67
3.2 ОСВ выд.	28,87±6,46		28,44	30	
3.3 ОСВ выд.	31,13±7,42		33,93	30	

Примечание: «ОСВ св.» – свежий осадок, «ОСВ выд.» – выдержанный осадок, * – среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

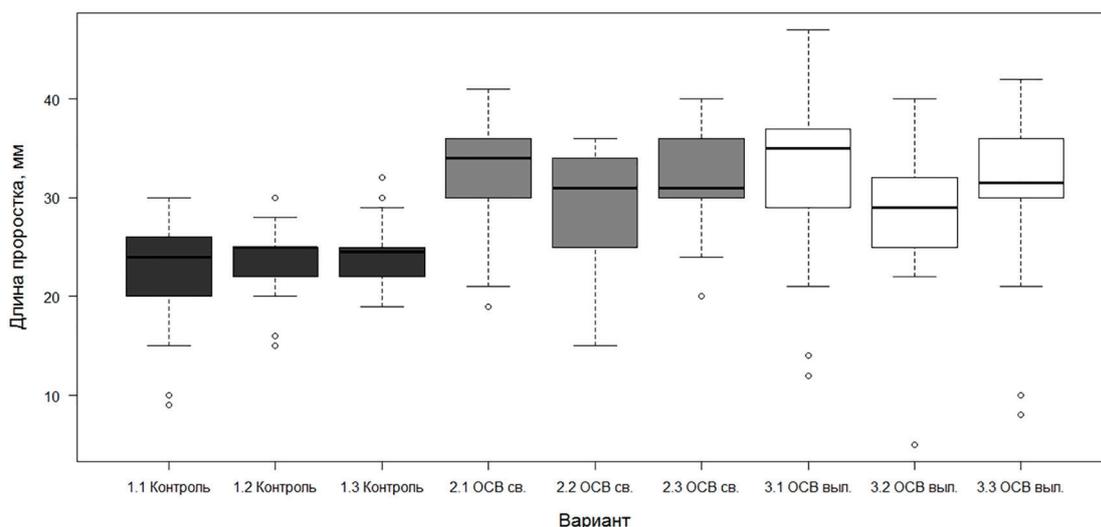


Рис. 4. Длина проростка на водной вытяжке ОСВ Ступино

Выводы

1. Осадки сточных вод крупного города оказали токсичное действие на семена и проростки растения кресс-салата, а значит, попадание их в окружающую среду в исходном состоянии является опасным, требуются мероприятия по их переработке.

2. ОСВ малого населенного пункта не только не ухудшают рост и развитие растений на ранней стадии онтогенеза, но, наоборот, обеспечивают всеми необходимыми веществами и стимулируют их рост и развитие.

3. По имеющимся данным можно предположить, что выдержанные осадки лучше свежих, так как чем больше доступных питательных веществ в окружающей среде, тем менее необходим длинный корень. Другими словами, растение может себе позволить не тратить энергию на увеличение длины корня для питания, что наблюдается в случае с выдержанными осадками.

4. Несмотря на отсутствие информации о химическом составе осадков, биотестирование быстро обнаруживает их токсичность для растений, в частности кресс-салата, что

является безусловным плюсом при ограниченности исследователя во времени, ресурсах, а также является важным при принятии решения о дальнейшем использовании или утилизации.

Список литературы

1. Беляева С.Д., Короткова Е.В., Петров М.И. Регулирование обращения с осадками сточных вод // Экология производства. 2016. № 3. С. 80–86.
2. Насыров И.А., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Проблемы утилизации иловых осадков очистных сооружений // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 19. С. 257–259.
3. Кубрина Л.В., Супиниченко Е.А. Использование кресс-салата как тест-объекта для оценки загрязнения снежного покрова // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 11–15.
4. Москалев А.А., Новаковский А.Б. Статистические методы в экологии с использованием R, Statistica, Excel и SPSS: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 022000.62 «Экология и природопользование» / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Сыктывкарский государственный университет», ФГБУН «Институт биологии Коми НЦ Уро РАН». Сыктывкар: Издательство СыктГУ, 2014. 197 с.
5. Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.