

УДК 631.453 (575.1)

ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Жаббаров З.А., Номозов У.М., Бахранова М.Ф., Абдукаримов Ж.Ж.

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: zafarjonjabbarov@gmail.com*

В статье определена активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы в орошаемых лугово-такрырных почвах, разбросанных вокруг Кумкурганской нефтебазы и Южно-Миршодского нефтяного месторождения в Сурхандарьинской области. Исследования проводились в лабораторном помещении кафедры почвоведения Национального университета Узбекистана, и результаты показали, что активность фермента каталазы была наибольшей в фоновых почвах с 1,95 мл O_2 /г почвы и наименьшей при 1,05 мл O_2 /г почвы на участке 1-Ркнб, активность фермента инвертазы была самой высокой на участках 6-Рюм и 6-Ркнб 0,95 мг глюкозы/г почвы в разрезах 0,65 мг глюкозы/г почвы в разрезе 1-Ркнб, наивысший показатель активности уреазного фермента в фоновых почвах 3,1 мг NH_3 /г почвы, а наименьший в почвах участка 1-Ркнб был равен 98 мг NH_3 /г почвенного индикатора. Из этого следует вывод, что активность ферментов в почвах вокруг нефтяной шахты и нефтехранилища увеличивается по мере удаления от низкого показателя. Научно доказано, что активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы в орошаемых лугово-такрырных почвах обусловлена загрязнением нефтяными углеводородами.

Ключевые слова: нефть, загрязнение, нефтяная шахта, нефтехранилище, почва, каталаза, уреазы, инвертаза, ферментативная активность

CHANGES IN THE ENZYMATIC ACTIVITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS

Jabbarov Z.A., Nomozov U.M., Baxranova M.F., Abdugarimov J.J.

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
e-mail: zafarjonjabbarov@gmail.com*

In the article, the activity of catalase, invertase and urease enzymes was determined in the irrigated meadow-barren soils scattered around the Kumkurgan oil storage depot and South Mirshodi oil field in Surkhondarya region. The study was carried out in the laboratory room of the Department of Soil Science of the National University of Uzbekistan, and the results showed that the activity of the catalase enzyme was the highest in the background soil at 1.95 ml O_2 /g of soil and the lowest indicator was at the 1- Kosd section at 1.05 ml O_2 /g of soil, the activity of the invertase enzyme was the highest the highest indicator is 0.95 mg glucose/g soil in the 6- Psm and 6- Kosd sections, the lowest indicator is 0.65 mg glucose/g soil in the 1- Kosd section, the urease enzyme activity is the highest indicator in background soils 3.1 mg NH_3 /g soil and the least in the soils of the 1- Kosd section was equal to 1.98 mg NH_3 /g soil index. If we conclude from this, the activity of enzymes in the soils around the oil field and oil storage is observed to increase with the distance from the low indicator. It is scientifically proven that the activity of catalase, invertase and urease enzymes in irrigated meadow-barren soils is caused by pollution with petroleum hydrocarbons.

Keywords: oil, pollution, oil field, oil storage, soil, catalase, urease, invertase, enzyme activity

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами с каждым годом увеличивается, что объясняется возрастающим спросом на нефтепродукты. В богатых нефтью и нефтедобывающих странах нефтепродукты прямо и косвенно приводят к беспрецедентному экономическому росту и развитию, но одним из самых нежелательных результатов при эксплуатации является загрязнение окружающей среды [1]. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами является одной из наиболее острых экологических проблем: когда нефть и нефтепродукты попадают в почву, это вызывает изменение биологических, химических, физических и физико-химических свойств почвы [2], биологическая активность почвы является показателем происходящих в ней изменений. При проведении биоценологических исследований в нефте-

загрязненных условиях разрабатываются методы оценки степени загрязнения почвы нефтью и ускорения процессов ее биодegradации, при которых биоценологическое исследование основано на биологической диагностике почв. В результате проведенных лабораторных и полевых исследований установлено, что процесс самовосстановления биологической активности почвы с низким (0,2%/1 кв. м) нефтяным загрязнением происходит в течение 3 лет [3], при изучении влияния нефти и нефтепродуктов на биологические свойства при повышении уровня загрязнения активность ферментов дегидрогеназы, уреазы, гидроксифосфатазы и каталазы снижалась в 1,5-2,3 раза по сравнению с контролем [4]. Внесение штамма углеводородоокисляющих бактерий в аллювиальные луговые почвы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, привело

к снижению содержания нефтепродуктов на 18-82%. Отмечено увеличение активности ферментов в почве [5].

На засоленных территориях при повышении скорости загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами высокие результаты достигаются за счет посева нефтедеградирующих штаммов + минеральные удобрения + аэрация почвы, фиторемедиационные растения, при этом активность ферментов в почве повышается [6].

В опытах при изучении эффективности биопрепарата «БИОРОС» в нефтезагрязненных почвах он приводит к повышению активности нефтедеградирующих микроорганизмов, увеличению синтеза ферментов каталазы и дегидрогеназы [7]. При внесении грибов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* на 10% нефтезагрязненных почвах межфазная активность гриба *Fusarium equiseti*, в сочетании с фиторемедиатором и биопрепаратом, почти в 1,2 и 1,5 раза превышала вариант с применением гриба *Cylindrocarpon magnusianum* в полном комплексе мелиорантов [8]. По данным ученых, биоуголь, как потенциальный сорбент для удаления и разложения нефти в почвах, повысил скорость очистки на 52,2% и активность фермента каталазы в 1,8 раза по сравнению с контролем [9], биоуголь усиливает микробную и ферментативную активность почвы, активность по разложению углеводов [10]. При непосредственном использовании ферментов природные ферменты микроорганизмов используются для разложения загрязнителей окружающей среды [11]. При рекультивации почвы, загрязненной моторным маслом, ферменты плодовой подстилки, полученные из разложившихся отходов апельсиновой и арбузной кожуры, имеют максимальную эффективность при снижении концентрации (удалении) моторного масла на 54-57%, при этом ферментный раствор апельсиновой подстилки содержит каталазу, протеазу, активность липазы и амилазы, также арбузный опад содержит активность ферментов каталазы, протеазы и липазы [12]. При биоремедиации нефтезагрязненных территорий кремний считается полезным для ускорения мелиорации почвы, активность ферментов каталазы и дегидрогеназы тесно связана с водорастворимым кремнием в почве [13]. В опытах установлено, что лесная подзолистая почва сохраняет свой биохимический потенциал в условиях концентрации нефти и способна к эффективному самовосстановлению при достижении оптимальной влажности и температуры. На начальном этапе опыта в результате внесения в почву мине-

ральных удобрений и БАД достоверного увеличения скорости разложения нефти в почвах не выявлено.

Целлюлозная активность варианта самообработки и варианта с добавлением БАД оставалась достоверно выше через 30 и 60 суток после внесения нефтепродукта в почву [14]. При рекультивации техногенно нарушенных земель в лабораторных и полевых опытах испытаны такие фиторемедиационные растения, как люцерна, райграс и ячмень, оказывающие стимулирующее действие на восстановление биологической активности без расщепления химических веществ [15].

Нефть и нефтепродукты разливаются из-за технических отказов оборудования в нефтяных шахтах и на нефтебазах, аварий в результате износа нефтепроводов и оборудования при транспортировке нефтепродуктов, взрыва вследствие теплового фактора при хранении нефтепродуктов, а также появления инфильтрационных вод в почве на близлежащих территориях вследствие действия инфильтрационных вод, биологических и физических повреждений почвы, что и влияет на ее химические свойства, в результате происходит уплотнение почвы, затруднение дыхания, нарушение воздушного и водного режимов, снижение численности микроорганизмов, обитающих в почве, замедление роста растений и увеличение гибели растений. Если почва экологически чистая, здоровая, имеет умеренные свойства и высокую продуктивность, то может проявляться биологическая активность, если активность ферментов в почве умеренная, то почва экологически чистая, имеет хорошие свойства и высокую продуктивность. Химическое загрязнение почвы вызывает сокращение и гибель обитающих в ней микроорганизмов, что вызывает снижение активности ферментов.

Материалы и методы исследования

Район исследований – орошаемые лугово-такрыные почвы, расположенные вокруг Кумкурганской нефтебазы, и нефтяная шахта Южный Миршоди в Сурхандарьинской области. В Сурхандарьинской области сухой субтропический климат, теплая зима, жаркое лето, сухие и продолжительные осадки, около 110-149,3 мм, абсолютный максимум температуры воздуха в июле +44,4...+44,6°C, абсолютный минимум температуры воздуха в январе -5,3...-16,8°C [16]. Земли исследуемого района широко используются в сельском хозяйстве под хлопководством, зерноводством, овощеводством.

Изменения активности ферментов в слоях разрезов почвы,
разбросанных вокруг источников загрязнения

Разрез	Расстояние от источников загрязнения, м	Глубина, см	Каталаза, мл O ₂ /г почвы	Уреаза, мг NH ₃ /г почвы	Инвертаза, мг гулюкоз / г почвы
Нефтяное месторождение Южный Миршоди					
1-Кжм	500	0-20	1,15	2,45	0,85
		20-30	0,76	2,15	0,75
		30-50	0,54	1,93	0,42
2-Кжм	800	0-20	1,2	2,15	0,71
		20-30	0,98	1,98	0,54
		30-50	0,82	1,77	0,38
3-Кжм	1500	0-20	1,63	2,75	0,78
		20-30	1,38	2,48	0,57
		30-50	1,22	2,32	0,41
4-Кжм	3000	0-20	1,55	2,88	0,82
		20-30	1,25	2,59	0,62
		30-50	1,05	2,42	0,45
5-Кжм	5000	0-20	1,76	2,65	0,88
		20-30	1,48	2,35	0,72
		30-50	1,32	2,15	0,43
6-Кжм	8000	0-20	1,68	2,92	0,95
		20-30	1,38	2,65	0,77
		30-50	1,17	2,45	0,45
Кумкурганская нефтебаза					
1-Ккно	200	0-20	1,05	1,98	0,65
		20-30	0,81	1,68	0,51
		30-50	0,65	1,45	0,32
2-Ккно	500	0-20	1,12	2,05	0,69
		20-30	0,94	1,75	0,52
		30-50	0,72	1,6	0,37
3-Ккно	1800	0-20	1,45	2,43	0,84
		20-30	1,15	2,13	0,61
		30-50	0,98	1,98	0,44
4-Ккно	3000	0-20	1,56	2,56	0,82
		20-30	1,32	2,32	0,65
		30-50	1,11	2,11	0,42
5-Ккно	5000	0-20	1,78	2,38	0,91
		20-30	1,52	2,11	0,68
		30-50	1,35	1,94	0,45
6-Ккно	8000	0-20	1,85	2,45	0,95
		20-30	1,55	2,16	0,75
		30-50	1,36	1,98	0,47
фон	30000	0-20	1,95	3,1	0,9
		20-30	1,68	2,83	0,71
		30-50	1,53	2,61	0,52

Отбор проб производился по координатам: вдали от нефтяной шахты Южный Миршоди 37°89419N / 67°5395.8"E; 37°8994.1"N / 67°5337.0"; 37°9091.7"N / 67°5319.8"E; 37°9193.7"N / 67°5294.4"E; 37°9350.0"N / 67°5189.8"E; 37°9623,5"N / 67°4986,8"E; с Кумкурганской нефтебазы 38°08259N / 67°8155.8"E; 38°0768.1"N / 67°8142.0"E; 38°0694.7"N / 67°8165.8"E; 38°0603.7"N / 67°8183.4"E; 38°0477.0"N / 67°8143.8"E; 38°0291,5"N / 67°79018"E [17].

Отбор проб, хранение и лабораторные опыты почв в районе исследований осуществляли по ГОСТ 17.4.3.01–83 [18]. Участки грунта, из которых были отобраны пробы, были сокращенно обозначены следующим образом: Разрез 1 (1-Рюм) – проба грунта взята на расстоянии 0,5 км от нефтяной шахты Южный Миршоди;

Разрез 2 (2-Рюм) – на расстоянии 0,8 км; Разрез 3 (3-Рюм) – на расстоянии 1,5 км; Разрез 4 (4-Рюм) – на расстоянии 3,0 км; Разрез 5 (5-Рюм) – на расстоянии 5,0 км; Разрез 6 (6-Рюм) – на расстоянии 8,0 км; Разрез 1 (1-Ркнб) – на расстоянии 0,2 км от Кумкурганского нефтехранилища; Разрез 2 (2-Ркнб) на расстоянии 0,5 км; Разрез 3 (3-Ркнб) на расстоянии 1,8 км; Разрез 4-й (4-Ркнб) на расстоянии 3,0 км; Разрез 5 (5-Ркнб) на расстоянии 5,0 км; Разрез 6 (6-Ркнб) на расстоянии 8,0 км, и фоновые почвы, отобранные на расстоянии 30 км.

Результаты исследования и их обсуждение.

Активность ферментов в почве определяли по методике, разработанной Ф. Хазиевым и А.Ш. Галстяном [19]. Получен-

ные данные сравнивали с активностью ферментов в фоновых почвах (расстояние 30 км).

Активность фермента каталазы колеблется в пределах 1,15-1,95 мл O₂/г почвы, что подвержено ряду изменений под влиянием нефти и нефтепродуктов, то есть ферменты каталазы снижаются вблизи источника загрязнения, а их активность возрастает на фоне почвы. Считается, что активность фермента инвертазы снижается и изменяется под влиянием нефти и нефтепродуктов, в результате активность фермента инвертазы изменяется в зависимости от источников загрязнения и колеблется в пределах 0,65-0,95 мг глюкозы/г почвы.

Когда грунты разрезов почвы декальцинируются, активность ферментов накладывается на закон уменьшения активности сверху вниз в слоях, в котором верхняя часть почвы характеризуется более высокой активностью ферментов, чем активность ферментов в нижних слоях (таблица).

Активность фермента уреазы зависит от уровня загрязнения: при легком и умеренном загрязнении она увеличивается, при сильном и очень сильном загрязнении снижается. Активность фермента уреазы колеблется в пределах 1,98-3,1 мг NH₃/г почвы (рис. 1).

Вблизи источника загрязнения активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы снижается, активность фермента каталазы составляет 1,05-1,95 мл O₂/г почвы, активность фермента инвертазы – 0,65-0,95 мг глюкозы/г активности почвы и фермента уреазы колеблется в пределах 1,98-3,1 мг NH₃/г почвы (рис. 2).

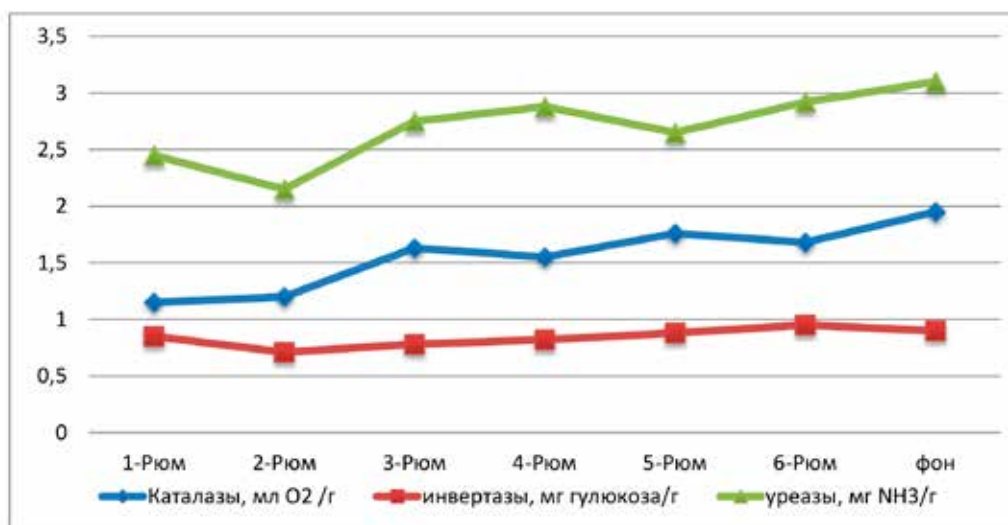


Рис. 1. Изменение активности ферментов при вывозе с нефтяной шахты Южный Миршоди

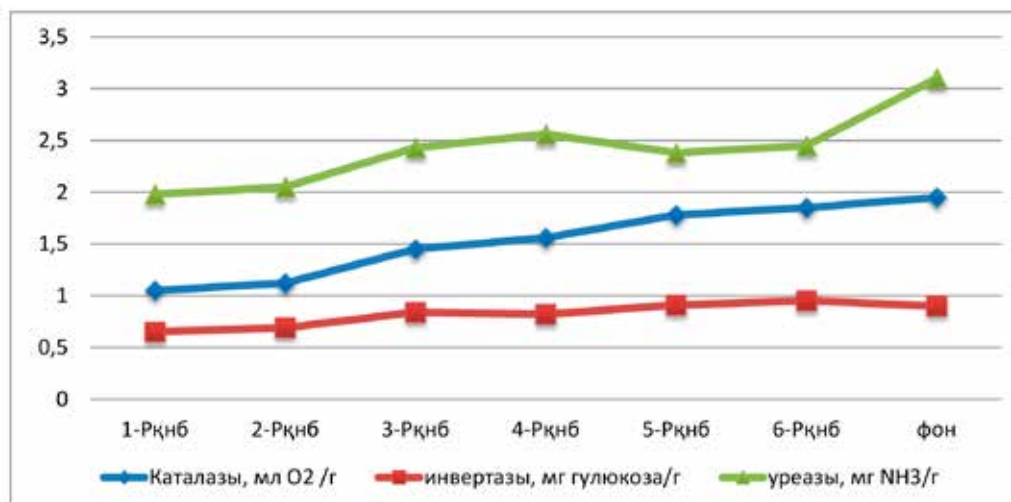


Рис. 2. Изменение активности ферментов в процессе удаления от Кумкурганского нефтехранилища

По полученным результатам установлено, что активность ферментов каталазы, инвертазы и уреазы изменяется в зависимости от источников нефтяного загрязнения, от нефтяной шахты и нефтебазы, где вблизи нефтяной шахты и нефтебазы активность ферментов низкая (склад хранения), а активность ферментов возрастает по мере увеличения расстояния (рис. 1, 2). В результате загрязнения почвы нефтью происходят различные изменения активности ферментов, в том числе активности фермента каталазы: наивысший результат 1,95 мл O₂/г в фоновой почве и наименьший показатель 1,05 мл O₂/г в 1-й почве. Рқнб секция, наибольшая активность фермента инвертазы показатель 0,95 мг глюкозы/г в секции 6-Рюм и 6-Рқнб, наименьший показатель 0,65 мг глюкозы/г в секции 1-Рқнб, наивысший показатель активности фермента уреазы составляет 3,1 мг NH₃/г в фоновых почвах, а наименьшее значение равнялось 1,98 мг NH₃/г в почвах 1-Рқнб, остальные результаты колебались между самыми высокими и самыми низкими показателями.

Заключение

Исходя из активности изучаемых ферментов, источники загрязнения орошаемых лугово-табьрных почв – нефтяная шахта и нефтехранилища – по-разному влияли на активность ферментов, в том числе самые низкие показатели активности ферментов были вблизи источников загрязнения нефтью, а активность ферментов увеличивается по мере удаления от источников загрязнения; видно, что вокруг источников

загрязнения уровень загрязнения выражается в том, что он уменьшается с увеличением расстояния. В зависимости от уровня загрязнения почвы проведение рекультивационных работ будет способствовать улучшению биологических свойств почвы, восстановлению и повышению активности ферментов в случае проведения агротехнических мероприятий с помощью видов растений, штаммов нефтедеградирующих бактерий. Если активность ферментов в почве умеренная, почва экологически чистая, имеет хорошие свойства и высокую продуктивность, то растения хорошо растут и развиваются, повышается жизнедеятельность микроорганизмов в почве.

Список литературы

1. Koshlaf E., Ball A.S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. AIMS Microbiol. 2017. Vol. 3. №1. P. 25-49. DOI: 10.3934/microbiol.2017.1.25.
2. Ковалева Е.И., Николаенко (Кегиян) М.Г., Макаров А.О., Макаров А.А. Оценка нефтезагрязнения бурых лесных почв острова Сахалин с использованием метода фитотестирования // Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв (ТГУ 7–11 сентября 2015 г., г. Томск). Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. С. 210-213.
3. Klishevich N.G., Kartyzhova L. The effect of oil pollution on the biological activity of sod-podzol light loam soil. Biological Sciences. The scientific heritage. 2022. Vol. 1. № 85. P. 7-15.
4. Chakravarty P., Chowdhury D., Deka H. Ecological risk assessment of priority PAHs pollutants in crude oil contaminated soil and its impacts on soil biological properties. Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 437. № 129325. P. 1-11.
5. Сулейманов Р.Р., Абдрахманов Т.А., Джаббаров З.А., Турсунов Л.Т. Ферментативная деятельность и агрохимические свойства лугово-аллювиальной почвы в условиях не-

фтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. Т. 10. № 2. С. 294-298.

6. Джаббаров З.А., Номозов У.М., Зокирова Ф.Н. Экспериментальные схемы рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, на засоленных территориях // Научно-инновационный журнал Узбекистана Замини. Ташкент. 2022. № 2. С.107-117.

7. Сазонова И. А., Смирнова Т.С. Исследование изменений биологической активности нефтегрязненной почвы, обработанной биопрепаратом «БИОРОС» // Студенческий форум. 2021. № 20 (156). С. 25-31.

8. Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеродоксилирующих микроорганизмов, эндофитных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтесодержащих почв // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_318.pdf.

9. Русева А.С., Минникова Т.В., Колесников С.И. Влияние ремедиации чернозема обыкновенного при нефтезагрязнениях на деятельность каталазы // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы II Международной научно-практической конференции (18-21 ноября 2021 г. г. Сибай.), Том-2, Сибай: Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан». 2021. С. 201-203.

10. Saeed M., Piyas N., Jayachandran K., Gaffar Sh., Arshad M., Ahmad M.Sh., Bibi F., Jeddi K., Hessini K. Biostimulation potential of biochar for remediating the crude oil contaminated soil and plant growth. Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 28. № 5. P. 2667–2676.

11. Kumar V., Shahi S.K., Singh S. Bioremediation: An Eco-sustainable Approach for Restoration of Contaminated Sites// Microbial Bioprospecting for Sustainable Development. 2018. № 6. P. 115-136.

12. Bulai I.S., Adamu H., Umar Y.A., Sabo A. Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. № 4. P. 1-14. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105465.

13. Zhang P., V Matichenkov V., Bocharnikova E.A., Sevostianov S.M. Silicon substances for restoration of oil-contaminated areas// IV International Youth Applied Research Forum “OIL CAPITAL” IOP Publishing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 931. № 012015. P. 1-5. DOI: 10.1088/1755-1315/931/1/012015.

14. Тарабукин Д.В. Модельная рекультивация ex situ и оценка ферментативной активности лесных подзолистых почв в условиях повышенного нефтяного загрязнения // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2019. Том 5. № 1. С. 29-43. DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-29-43.

15. Джаббаров З.А., Абдрахманов Т., Джаббаров Б.Т., Номозов У.М. Подбор растений с фиторемедиационными свойствами для рекультивации техногенно нарушенных почв // Научно-внедренческий журнал Узбекистана «Замини». Ташкент. 2019. № 1. С. 15-16.

16. Краеведческий атлас Сурхандарьинской области: Государственный комитет земельных ресурсов, геодезии, картографии и государственного кадастра Республики Узбекистан. Ташкент, 2016. 55 с.

17. Белоус И.Н., Прудников П.В. Мониторинг радиационной обстановки и плодородия почвы на Новозыбковской опытной станции // Весник Брянской GSXA. 2019. №1. С. 3-8.

18. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору зонда (устанавливает требования к отбору зонда почвы при общих и локальных загрязнениях. М.: Стандарты информ, 2004. 6 с.

19. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Книга по Требованию, 2005. 112 с.