

БІАЛОГІЯ

УДК 631.95:574:631.8:579

*Л. В. Старишкова, А. М. Потаненко***ХИМИЧЕСКИЕ И БИОИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ АГРОСИСТЕМ**

Реакцию среды на действие антропогенного фактора определяли не только с помощью химических анализов накопления загрязнений, но и используя методы биоиндикации. Для мониторинга агроэкоцистем использовали комплекс методов агрохимического анализа почв, фито- и микробиологической диагностики. Проведены комплексные сравнительные исследования агроэкоцистем, подвергающихся антропогенным нагрузкам различной интенсивности. В результате исследований получены данные по видовому составу фитоэкоцистем. Выявлена видовая принадлежность 32 травянистых растений, десять из которых отнесены к растениям – индикаторам гранулометрического состава и нейтрофилам, характеризующим реакцию среды исследуемых почв. По совокупности используемых методов почвы агроэкоцистем отнесены к супесчаным дерново-подзолистым, с нейтральной реакцией среды. Отмечено накопление сульфатов в почвах опытных участков. Почвы исследуемых агроэкоцистем в различной степени насыщены микроорганизмами групп азотфиксаторов и нитрификаторов.

Введение

Почвенный покров является накопителем информации о происходящих процессах и изменениях в других природных системах. Поэтому почвенный мониторинг имеет более общий характер и открывает большие возможности для решения прогностических задач [1]. При изучении и оценке устойчивости природных экосистем представляется наиболее рациональным и интересным использование методов биоиндикации для определения антропогенных воздействий на природные биоэкоцисты [2]. При почвенном мониторинге, в отличие от мониторинга остальных составляющих биосферы, очень важно как можно ранее диагностировать неблагоприятные изменения свойств почвы. Поэтому разработка принципов и методов ранней диагностики повреждения почвенной биоты антропогенными стрессорами представляет одну из самых актуальных задач биологии почв.

В настоящее время под влиянием хозяйственной деятельности человека происходят активные деструктивные процессы в почвах и соответственно в агроэкоцистах. Общими для многих почв является потеря гумуса, увеличение кислотности или щелочности, неблагоприятные изменения состава обменных катионов, эрозия и дефляция, загрязнение почв пестицидами, детергентами и другими органическими соединениями, угнетение почвенной биоты [3].

Нарушение экологической среды почв под влиянием различного рода загрязнителей (поллютантов) – одна из важнейших проблем современной экологии. Реакцию среды на действие антропогенного фактора можно определить не только химическим анализом, но и используя методы биоиндикации. Анализ растительных сообществ изучаемых агроэкоцистем позволяет выделить индикаторные виды растений, которые могут свидетельствовать о структуре, состоянии почвы, ее свойствах, кислотности, обеспеченности элементами минерального питания, состоянии плодородия почв. Наблюдения за состоянием растительности исследуемых ключевых участков направлены на выявление видов, чувствительных к антропогенному воздействию [4].

Цель данных исследований – изучение антропогенно обусловленной деградации природных экосистем в процессе их окультуривания; осуществление комплексных химических и биоиндикационных исследований; установление долгосрочных тенденций и буферной способности агроэкоцистем в отношении одновременно действующих нарушающих факторов.

Комплексные исследования, включающие агрохимический анализ, фито- и микробиологическую диагностику, на наш взгляд, позволят установить биоиндикаторы, индикационные признаки, тип стрессора, тип индикации и способности почвенной биоты противостоять деградационным нагрузкам.

Объекты и методы исследований. Для исследований были выбраны агроэкосистемы в Гомельском и Мозырском районах. Определение почвенно-агрохимических, фитоиндикационных и микробиологических показателей агроценозов осуществляли в образцах проб, отобранных на пахотных угодьях совхоза «Новобелицкий» Гомельского района и колхоза им. Калинина Мозырского района. Интерес к данным районам объясняется различной степенью антропогенной нагрузки:

из-за отсутствия промышленных предприятий на выбранной территории в Гомельском районе, представляющем собой объект биологической системы, менее подверженной антропогенному воздействию; это контрольный участок;

благодаря пахотным угодьям в Мозырском районе, расположенным между селитебной и промышленной зонами и испытывающим значительную антропогенную нагрузку. Промышленная зона включает ряд предприятий: нефтеперерабатывающий завод; ТЭЦ; АЭС; предприятия строительной отрасли. Таким образом, агроценозы Мозырского района представляют собой биологическую систему, которая испытывает значительную антропогенную нагрузку, и являются опытным объектом.

Эти обстоятельства позволяют осуществить сравнительную оценку качественных показателей почв, а также провести фитоиндикационный и микробиологический анализы агроэкосистем с различной интенсивностью антропогенной нагрузки.

В процессе исследований отбор проб почвы осуществляли в реперных точках в соответствии с ГОСТ 17. 4.4.02.84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа». Стандарт предназначен для контроля общего и локального загрязнения почвы в районах воздействия промышленных, сельскохозяйственных, хозяйственно-бытовых, транспортных источников загрязнения. Агрохимические показатели определяли в аттестованной лаборатории РУП комбината «Этанол».

В водной почвенной вытяжке определяли следующие агрохимические показатели: реакцию среды – потенциметрически; содержание влаги, сухого, минерального и органического остатков – гравиметрически; ионов хлора – реакцией водной почвенной вытяжки с азотнокислым серебром; сульфатов – при помощи реакции с хлористым барием. Определение суммы поглощенных оснований осуществляли по сумме обменных оснований, которые рассчитывали методом Каппена и Гильковича [5].

Фитоиндикационные исследования проводили путем изучения фитоценозов, выявляя фитоиндикаторы как в полевых условиях, так и в гербариях. Преобладание определенной растительности позволяет делать выводы о структуре, состоянии почвы и ее свойствах [6]. Видовую принадлежность растений определяли по методике изучения растительности и с помощью определителя высших растений [7], [8]. Микробиологическая индикация почв по специфичности почвенных микробиоценозов обеспечивает выделение и определение жизненных форм микроорганизмов по отношению к тому или иному экологическому фактору. Определение микробиологической структуры и выделение жизненных форм нитрифицирующих и азотфиксирующих микроорганизмов осуществляли путем посевов на селективные среды. Нитрифицирующие бактерии выделяли на среде Виноградского, в накопительной культуре, методом инкубации комочков почвы в течение 5–6 дней, с последующим определением присутствия в среде азотной кислоты реакцией с дифениламином; нитритов – по красному окрашиванию с реактивом Грисса. Группу азотфиксаторов рода *Clostridium* выделяли методом посева на среду Виноградского без сернокислого аммония, время инкубации 2–3 суток. Бактерии рода *Azotobacter* определяли в посевах на агаризованной среде Эшби. В процессе инкубации в течение 2–3 дней на МПБ определяли присутствие в почве группы бактерий аммонификаторов рода *Proteus* [9].

Результаты и их обсуждение

Результаты агрохимических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественные показатели образцов почв

№ пробы	Показатели							
	pH	Сумма поглощен. оснований	Минеральный остаток, %	Органический остаток, %	Сухой остаток, %	Сульфаты, мг/г	Хлориды, мг/г	Карбонаты, мг/г
1	6,8	0,3	0,007	0,048	0,056	0,170	0,011	0,001
2	6,8	8,7	0,027	0,035	0,062	0,212	0,019	0,003
3	6,4	12,1	0,024	0,026	0,050	0,220	0,020	0,002
4	6,4	6,9	0,024	0,028	0,052	0,257	0,026	0,002
5	7,0	11,1	0,108	0,017	0,125	0,232	0,008	0,001

Как видно из приведенных в таблице данных, образцы почв имеют практически нейтральную реакцию среды. В образцах 1 и 2 pH равен 6,8; в пробах почвы 3 и 4 этот показатель составляет 6,4; в образце 5 pH равен 7,0. Цифровые данные реакции среды на 2–3 единицы превышают указанные в литературе значения pH (4,6) для дерново-подзолистых окультуренных почв. Следует отметить, что в образцах почв наблюдается значительное увеличение сульфатов, (в мг/г), от 0,169 до 0,257, что в 8–9 раз превышает литературные данные (0,029) для подобного типа почв; уменьшение хлоридов – от 0,025–0,011 в пробах 1 и 4, до 0,008 в пробе 5 (литературные данные 0,032) [5].

Таким образом, в результате исследований выявлено, что по агрохимическим показателям исследуемые почвы наиболее соответствуют песчаным и супесчаным. В процессе их окультуривания и использования изменяются их свойства: повышается pH среды, снижается содержание сухого остатка, сумма поглощенных оснований изменяется в широких пределах. В почвах, подверженных значительной антропогенной нагрузке (агроценозы Мозырского района), отмечено увеличение содержания сульфатов. Основной причиной отличий агроценозов данного региона является близость нефтеперерабатывающего завода и ТЭЦ. Именно эти два предприятия являются источниками выбросов серосодержащих соединений, чем, вероятно, и вызвано накопление сульфат-ионов в почвах Мозырского района.

Сравнение флористического разнообразия контрольного и опытного участков проводили по следующим показателям: видовой состав и их обилие в агроценозах, определение видов-доминантов. Перечень видов травянистых растений, присутствие которых характерно только для фитоценоза Мозырского района, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Виды растений, характерные для фитоценоза опытного участка (Мозырский район)

№ п/п	Вид растения	номер площадки			
		1	2	3	4
1	AEGOPIDIUM PODAGRARIA L.	+	+	–	–
2	ELYTRIGIA REPTANS (L.) NEVSKI	+++	+++	–	–
3	LUPINUS POLYPHYLLUS LINDL.	+++	–	+	+++
4	BERTEROA INCANA (L.) DC	+	+	+	+
5	OENOTHERA BIENNIS L.	+++	+++	–	–

Обозначения – +++ ОБИЛИЕ, + ПРИСУТСТВИЕ, – ОТСУТСТВИЕ.

Как видно из данных таблицы 2, видовой состав фитоценоза, характерного только для опытного участка, представлен пятью видами растений. Преобладающими видами являются *Elytrigia reptans* (L.) Nevski, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Oenothera biennis* L. Практически повсеместно распространена *Berteroa incana* (L.) DC. Реже встречается вид *Aegopodium podagraria* L. В таблице 3 представлен перечень видов травянистых растений, присутствие которых характерно только для контрольного участка.

Таблица 3 – Виды растений, характерные для фитоценоза контрольного участка (Гомельский район)

№ п/п	Вид растения	Номер площадки			
		1	2	3	4
1	CONYZA CANADIENSIS (L.) CRONG.	+	-	-	+
2	MATRICARIA PERFORATE MERAT	+	-	+	-
3	SETARIA GLAUCA (L.) BEAUV.	+++	+	+	+
4	VICIA CASSUBICA L.	+	-	+	-
5	AMARANTHUS RETROFLEXUS L	+	-	+	-
6	SPERGULAA ARVENSIS L.	+	-	+	-
7	KNAUTIA ARVENSIS (L) COULT	-	+	-	+
8	MENTA ARVENSIS L.	+	-	-	+
9	ELYTRIGIA REPTANS (L.) NEVSKI	+	+	+	+
10	DELPHINIUM ELATUM L	+	+		-

Представленные в таблице 3 девять видов растений характерны только для фитоценоза контрольного участка. Преобладающим является вид *Setaria glauca* (L.) Beauv. Реже встречаются виды *Elytrigia reptans* (L.) Nevski, *Delphinium elatum* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult. В таблице 4 представлены виды растений, которые являются общими для фитоценозов контрольного и опытного участков.

Таблица 4 – Виды растений, присутствующие в фитоценозах контрольного (Г) и опытного участков (М)

№ п/п	Вид растения	Номер площадки			
		1	2	3	4
1	ARTEMISIA CAMPESTRIS L.	-	Г+	М+	Г/М +/+
2	TRIFOLIUM AGRARIUM L. P.P. NOM. AMBIG.	М+	-	Г+	-
3	EUPHORBIA VIRGATA L.	Г+	М+	-	М+
4	VICIA CRACCA L.	Г/М +/+	-	Г/М +/+	Г/М +/+
5	ECHIAM VULGARE L.	Г/М +/+	-	-	Г/М +/+
6	VICIA ARVENSIS L.	Г/М +/+	-	-	-
7	STELLARIA MEDIA L.	Г +++	Г/М +++/+	Г/М +/+	Г/М +/+
8	AGROSTIS ALBA AUCT.	Г/М +/+	Г/М +/+	-	-
9	CHENOPODIUM ALBUM L.	Г/М +/+	-	-	-
10	CENTAUREA RHENANA BOREAU	М+	-	-	Г+
11	ELYTRIGIA REPTANS (L.) NEVSKI	Г/М +++/>+++	Г/М +++/>+++	Г/М +++/>+	Г/М +/+
12	EQUISETUM ARVENSE L.	Г/М +/+	-	Г +	Г/М +/+

Как видно из данных, представленных в таблице 4, наибольшее присутствие в фитоценозах опытного и контрольного участков отмечено для *Elytrigia reptans* (L.) Nevski, *Stellaria media* L., *Vicia cracca* L., *Artemisia campestris* L., *Equisetum arvense* L. Присутствие в фитоценозах контрольного и опытного участков *Equisetum arvense* L., *Agrostis alba* auct., *Artemisia campestris* L. позволяет отнести исследуемые почвы к песчаным и супесчаным, так как эти растения являются индикаторами гранулометрического состава почв. Присутствующие в контрольных и опытных участках виды *Artemisia campestris* L., *Persicaria amphibian* Mill, *Vicia cracca* L., *Stellaria media* L. *Echium vulgare* L. считаются аборигенными и произрастают вблизи дороги и леса.

Видовой состав доминирующих и индикаторных растений, изучаемых агроэcosystem, включающий 10 растений, собран в гербарий. Процентное участие доминирующих видов представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Процентное участие видов-доминантов исследуемых фитоценозов Мозырского (М) и Гомельского районов (Г), в %

№ п/п	Вид-доминант	Г, %	М, %
1	ERODIUM CICUTARIUM (L.)	21,83	31,39
2	MATRICARIA PERFORATE MERAT.	2,5	13,77
3	PERSICARIA AMPHIBIAN MILL	10,2	6,61
4	CAPSELLA BURSA-PASTORIS (L.) MEDIK	9,17	9,69
5	ATRIPLEX PATULA L.	6,98	10,9
6	VERONICA ARVENSIS L.	7,86	5,0
7	SETARIA GLAUCA (L.) BEAUV.	16,15	13,28
8	CONYZA CANADENSIS (L.) CRONG.	2,18	2,3
9	MELANDRIUM ALBUM (MILL)	18,34	0,7
10	OENOTHERA BIENNIS L.	4,8	6,36

Как видно из приведенных данных, преобладание индикаторных видов *Erodium cicutarium* (L.), *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik, *Setaria glauca* (L.) Beauv., *Melandrium album* (Mill.) характерно для контрольных участков, что свидетельствует об истощении почв. *Erodium cicutarium* (L.), *Matricaria perforate* Merat, *Atriplex patula* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik, наиболее часто встречающиеся виды на опытных участках, образуют индикаторные сообщества нейтрофилов. Наличие таких групп является показателем кислотности почвы.

В результате микробиологических исследований выявлено присутствие в почве следующих групп микроорганизмов: бактерий нитрификаторов; аммонификаторов рода *Proteus* и бактерий рода *Azotobacter*. Результаты микробиологической диагностики почв исследуемых агроэcosystem представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Структура микрофлоры почв агроэcosystem Мозырского и Гомельского районов

№ п/п	Группы микроорганизмов	Описание результатов	
		контрольный участок	опытный участок
1	Нитрификаторы	Голубоватое окрашивание культуральной жидкости дифениламинном	Интенсивное синее окрашивание культуральной жидкости дифениламинном
2	<i>Azotobacter</i>	40% обрастания почвенных комочков	9,5% обрастания почвенных комочков
3	Аммонифицирующие бактерии	Помутнение среды, фильтровальная бумага потемнела, лакмусовая бумага осталась желтой	Помутнение среды, фильтровальная бумага потемнела, лакмусовая бумага осталась желтой

В пробах почвы Мозырского района отмечено присутствие значительного количества разнообразных форм нитрификаторов, что подтверждается интенсивно-синим окрашиванием дифениламинном культуральной среды после культивирования. В образцах почв контрольных участков окрашивание было менее интенсивным, что свидетельствует о минимальном присутствии бактерий нитрификаторов. О наличии большого количества бактерий рода *Azotobacter* в пробах почвы Гомельского района свидетельствуют данные опыта обрастания почвенных комочков: в пробах Гомельского района – 40,2%, а в пробах Мозырского района всего лишь 9,5%. Во всех опытах по определению группы факультативных анаэробных аммонификаторов выявлено отсутствие выделения аммиака и присутствие сероводорода, что подтверждается данными инкубации почвенной пробы на МПБ и почернением бумаги, пропитанной раствором уксуснокислого свинца.

Выводы

В данных исследованиях применен комплекс методов качественной и количественной оценки агроценозов, включая химический анализ, фитоиндикационную и микробиологическую диагностику пахотных территорий, находящихся в зонах антропогенного влияния различной интенсивности.

Проведенные агрохимические и фитоиндикационные исследования позволили определить гранулометрический состав почв и отнести их к типу песчаных и супесчаных дерново-подзолистых.

В результате фитоиндикационных исследований определены виды травянистых растений, которые могут быть использованы в качестве фитоиндикаторов для экспресс-анализа деструктивных изменений данных агросистем. Результатом исследований явилось составление перечня сорной растительности и процентного состава видов-доминантов.

Фитоиндикационный анализ растительных сообществ показал, что биоиндикационные показатели согласуются с агрохимическими данными и могут быть использованы для экспресс-анализа качества и свойств агроценозов.

Применение метода микробиологической индикации позволило определить микробиологическую структуру и выделить группы микроорганизмов, имеющих значение в обеспечении плодородия агроценозов. Применение микробиологических методов позволило выявить различия присутствия групп аммонификаторов в опытном и контрольном участках.

Проведенные исследования подтверждают возможность применения методов биоиндикации для определения деструктивных процессов, протекающих в агроценозах. Методы биоиндикации могут применяться для ранней диагностики и экспресс-анализа агроценозов, чтобы вмешаться и остановить или ослабить антропогенез. В отличие от химических методов ранняя диагностика почв с использованием фитоиндикационных методов не требует значительных финансовых вложений, а самое главное более проста и доступна.

Літэратура

1. Владыченский, А. С. Почва. Ее место и роль в биосфере Земли / А. С. Владыченский // Биология в школе. – 2002. – № 1. – С. 13–16.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. М. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
3. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пос. для хим., хим.-технолог.-х и биол. спец. вузов / Д. С. Орлов, Л. К. Саловникова, И. Н. Лозановская. – М.: Высш. школа, 2002. – 334 с.
4. Биологическая диагностика и индикация почв: краткий курс лекций / сост. И. Н. Безкоровая; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2001. – 32 с.
5. Пособие для работников агрохимических лабораторий / под ред. проф. А. В. Петербургского. – М.: Изд-во с/х литературы, журналов и плакатов, 1961. – 283 с.
6. Школьный экологический мониторинг: учеб.-метод. пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – М.: АГАР, 2000. – 380 с.
7. Бученков, И. Э. Методика изучения растительности: учеб.-метод. Пособие / И. Э. Бученков. – Минск: БГПУ, 2003. – 38 с.
8. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Минск: ДизайнПРО, 1999. – 472 с.
9. Ежов, Г. И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии: учеб. пособ. для студ-в агрохим.-х спец. / Г. И. Ежов. – М.: Высш. школа, 1974. – 286 с.

Summary

During the soil-monitoring in contradistinction to the other biosphere components it is very important to determine unfavorable changes of soil properties as soon as possible.

For the purpose of working out the principles and methods of early diagnostics of soil damage an attempt of complex investigation of chemical and biological transformation in arable lands has been taken. Agrosystems of Gomel and Mozyr regions with differ cut level of industrial influence have been chosen for investigation.

The results of this investigation are the following there is the increase of sulphates in the soils exposed to great industrial risk (Mozyr region), the comparison of species in the control and experimental sections has given an opportunity to determine the species-dominant compound and the variety of species; the investigated are saturated with microorganisms of азотфиксаторов and нитрификаторов.

There are nitrogen and ammonium bacteria.

Bioindicative methods given in this investigations are defected to realization of important indicative functions in early determination of destructive changes in soils of arable territories.

Поступила в редакцию 05.02.08.