

УДК 631.46(435.04)

## ПОЧВЕННЫЕ МИКРОБОЦЕНОЗЫ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

© Е.В. Напрасникова

*Ключевые слова:* почва; микробоценозы; функциональные особенности. Приведен анализ и итоги многолетних исследований структуры, динамики и функциональных особенностей микробиоты почв в условиях Сибири. Эколого-биохимический подход в работе позволил выявить особенности почвенно-биотических ресурсов естественных и антропогенно измененных геосистем.

### ВВЕДЕНИЕ

В.И. Вернадский [1], вводя в науку метафорическое понятие «живое вещество», подчеркивал, что почвы, переполненные им, представляют живую пленку суши. При этом в биосферной концепции он уделил большое внимание влиянию биоты на поверхностные оболочки Земли и указывал на ведущее положение почвенных организмов, главным образом за счет концентрационной функции. Данное положение основывается на таких узловых особенностях микробиоты, как превосходство их по биомассе на суше (в 750 раз по сравнению с океаном), большая лабильность метаболизма, что выражается в использовании разнообразных соединений, высокая скорость размножения и т. д. [2]. Более того, микробиоту можно отнести к критическим компонентам геосистемы ввиду того, что она обеспечивает метаболизм вещества и энергии, являясь ее самой реактивной частью (из существующих форм живой материи) с высокой физиологической активностью и разнообразием биохимических функций.

В настоящее время не вызывает сомнений тот факт, что деятельность микробиоты, определяемая географическими и экологическими факторами, обуславливает все почвенно-биохимические процессы и экологические функции самой почвы.

Перед сотрудниками лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв Института географии СО РАН стояли вполне конкретные и в высшей степени трудоемкие задачи по оценке уровня численности, размеров биомассы в режиме временных наблюдений (внутрисуточных, ежедневных, сезонных), биологического разнообразия, а также роли микробиоты в экологических функциях почвы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования структуры, динамики и функциональные особенности микробиоты почв на стационарах выгодно отличались от аналогичных исследований других учреждений. Во-первых, они являлись частью комплексных научно-исследовательских работ, во-вторых, носили эколого-географическую направленность, в-третьих, метод комплексной ординации [3] позволил выявить особенности пространственной

структуры микробоценозов различных геосистем Сибири на разных географических стационарах (Харанорский, Нижне-Иртышский, Ленский, Ново-Николаевский). Более того, были проведены детальные проработки по динамике численности, биомассе и продуктивности основных групп почвенных микроорганизмов. Следует подчеркнуть, что полигоны-трансекты, где проводились исследования по методу комплексной ординации, представляют репрезентативные участки исследуемой территории или модельные участки геосистемы. Следовательно, материалы, полученные по изучению микробиоты, также можно считать репрезентативными. Изучение функциональной роли микробиоты почв началось на примере Юго-Восточного Забайкалья (Харанорский стационар) и в пределах южных районов Иркутской области в начале 1960-х гг. Кроме количественного и качественного изучения микробных ассоциаций, используя «метод ферментативных реакций», была впервые показана закономерность проявления интенсивности и направленности биохимических процессов малоизученных (на тот момент) почв Восточной Сибири, что нашло отражение в печати [4]. Исследованиями были установлены факты увеличения активности большинства ферментов при движении от горно-таежных почв севера на юг к почвам степей Забайкалья. Это не что иное, как подтверждение подчинения изучаемых процессов действию закона зональности. Данные исследования совпали с моментом в изучении почв, когда биохимический подход привлек внимание отечественных и зарубежных ученых.

В 1970-е гг., когда расширилась сеть стационаров Института географии СО РАН, была продолжена работа по изучению особенностей микробиоты Сибири и ее роли в почвенных процессах, а главное в пространственно-функциональной организации геосистем. Экологическая направленность работ продолжала оставаться на высоком уровне, что оценивается весьма положительно при получении биогеохимической информации. Значимость работ усилилась в связи с участием в Международной биологической программе (МБП). Особенно актуальным был вопрос продуктивности микроорганизмов в различных почвах разных географических зон.

Исследования, начатые в рамках МБП в условиях Сибири, успешно продолжались и далее. Результаты показали, что наибольшие колебания численности

микроорганизмов наблюдаются в пойменных геосистемах. В меньшей степени они отмечаются в таежных, а в относительно более стабильных степных – динамика изменения общей численности микроорганизмов выражена сравнительно слабо [5]. Во всех изучаемых геосистемах изменение численности при ежедневных и сезонных наблюдениях имели сходство, выраженное в периодичности: за подъемом численности следовал ее спад. Суммарный баланс в целом за вегетационный сезон находился в пределах средней многолетней нормы.

Микробная масса, ее размеры, структура, биохимические свойства и закономерности развития – функции взаимосвязи растительных, физико-химических и гидротермических процессов. Было показано, что в южно-таежном Прииртышье в биологически активном слое почвы биомасса микроорганизмов колеблется в разные годы от 0,91 до 6,0 т/га [6]. Несколько меньшие размеры зарегистрированы (на примере черноземных и бурых лесных) в районе низогорного рельефа предгорий Западного Саяна от 0,5 до 1,8 т/га. Важно отметить, что на примере почв ландшафтно-экологического ряда Западного Саяна по результатам прямого подсчета под микроскопом было показано преобладание биомассы грибов над биомассой бактерий. Это явилось существенным коррективом в представления о состоянии в почвах основного деструктора органических веществ. Специальные опыты показали интересный факт, что в условиях Сибири количество мертвых бактерий не превышает 8 % [7].

В степных почвах Юго-Восточного Забайкалья уровень биомассы составлял 0,3–0,5 т/га, но при благоприятном водном режиме эти значения возрастали в 3–6 раз [8]. Почвы степных экосистем Минусинской котловины характеризуются более стабильным уровнем биомассы и имеют значения 0,3–1,1 т/га [9]. В черноземных и серых лесных почвах Назаровской котловины (зона КАТЭКа) размеры микробомассы в разные годы колеблются от 0,9 до 3,6 т/га [10].

Скорость размножения микроорганизмов в почве очень не постоянна и зависит от множества факторов среды. Так, например, число поколений бактерий за год колебалось в пойменных геосистемах от 7 до 35, таежных – от 4 до 17, степных – от 2 до 9.

Следует отметить, что результаты данных исследований, которые не потеряли своей ценности и в настоящее время, вошли в итоги исследований на национальном и на международном уровне. Они отражены в научных статьях авторитетных журналов, специальных сборниках и итоговых выпусках под руководством видного ученого д.г.н. Т.В. Аристовской. Особенно ярко это представлено в одной из итоговых международных серий «Ресурсы биосферы» [11].

Наблюдения за состоянием почвенной микробиоты в естественных геосистемах Сибири послужили основой для выявления ее изменчивости в почвах зоны промышленного освоения, а также осуществления прогноза этих изменений под воздействием различных антропогенных нагрузок. Достаточно детально были изучены ответные реакции микробиоты на воздействие различных промышленных отходов (нефтеперерабатывающего и нефтехимического, металлургического комбината, аэрозольных выбросов Назаровской и Березовской ГРЭС, работающих на бурых углях) как в естественных неизолированных условиях, так и в режиме эксперимента.

В отличие от других «классических» сибирских географических стационаров, исследования на КАТЭ-Ке (Назаровский и Березовский стационары) проводились на коротких сопряженных рядах топогеосистем или фациях – дублях, т. е. на удаленных друг от друга небольших участках. На основании этих материалов представилась возможность определить интенсивность и направленность процессов естественного самоочищения почв. Иными словами, были заложены основы для развития идей и принципов структурно-функционального анализа разнообразных свойств почв и экологических функций.

Кроме режимных наблюдений в условиях стационаров проводилась большая работа методического характера по изучению отклика интродуцированных микробных популяций (первый способ) и иницированных микробных сообществ (второй способ) [12]. Такие способы контроля были рекомендованы автором подхода в качестве индикационных для оценки состояния изучаемых почв в зонах умеренного и сильного техногенного воздействия. Многолетние исследования коллектива сотрудников в рассмотренных аспектах получили обобщение в монографии З.И. Никитиной [13].

Наряду с изучением количественных и качественных характеристик микробиоты большое внимание уделялось и продолжает уделяться биохимическому потенциалу почв, как интегральному показателю, а в экологическом аспекте – функциональному и значимому показателю темпов и степени его изменчивости в различных геосистемах. Так, определение гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов в почвах долинных геосистем Западно-Сибирской равнины показало их достаточную обогащенность. Известно, что уровень ферментативного потенциала определяют гидротермические условия и растительный покров. Было показано, что агрогенное влияние в значительной степени может влиять на состояние ферментативной системы, и это выразилось в уменьшении ее активности.

В настоящее время, когда усиливается влияние не только техногенеза, но и урбанизации, стали весьма актуальными вопросы состояния почвенного покрова городской среды. В городских экосистемах разнообразие почв варьирует от естественных зональных до типичных урбаноземов, которые выполняют важные экологические функции. На примере промышленных городов Восточной Сибири показано, что рН городских почв значительно смещается в щелочную область. Изучен щелочно-кислотный тренд биологической активности от величины рН почв, который можно считать результатом антропогенно-спровоцированных процессов. Данные интегральные показатели явились нашим выбором не случайно. Биохимический потенциал почв как индикатор их современного экологического состояния заслуживает особого внимания. Известно, что биологическая активность почв – один из информативных показателей ее функциональных возможностей на текущий момент времени, что согласуется с концепцией о двуединой природе почв [14] и контролируется экологическими факторами особенно щелочно-кислотными условиями (рН). Он является полифункциональной характеристикой почв и считается информативным не только с общих экологических позиций, но и санитарных, т. к. показывает возможности самоочищающей способности городских почв.

Кроме этого на основе большого количества экспериментальных данных выделены группы почв в городской среде с разной степенью самоочищающей способности. Впервые выполнена оригинальная карта-схема, как информационное обеспечение при современной оценке экологического состояния городской среды в оперативном режиме. Представленное исследование является опытом (примером) оценки функционального состояния почвенного покрова урбанизированной территории и получения новых экологических знаний в реальном времени [15–16].

Исходя из диагностической роли и информативности почвенно-биохимических показателей, разработан и предложен алгоритм оперативной оценки экологического состояния почв, базируемым на большом экспериментальном материале и математическом моделировании. На основе этого метода важным этапом в исследованиях является прогнозирование будущего состояния функционирования изучаемых почв в условиях меняющейся окружающей среды, что детально отражено в печати [17].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате многолетних исследований определены структурно-динамические характеристики микробиоценозов, выявлена направленность сложных почвенно-биохимических процессов в условиях ранимой природы Сибири. Показаны возможности контроля функционирования и изменчивости микробиоты, как тонкого индикатора условий среды в режиме мониторинга.

Определены почвенно-микробиологические ресурсы изучаемых геосистем и их функциональные особенности в пространственно-временном аспекте. Все это является восполнением недостаточной изученности территории в данном направлении. Биодиагностические принципы с использованием индикационных методов и выбором интегральных показателей позволили выявить ряд экологических функций почв, определяемых исключительно биохимическими ресурсами. Это в свою очередь повысило информативность результатов выполняемых исследований не только в диагностическом плане, но и прогностическом, столь важных в период обострения экологических проблем. Опыт разностороннего изучения микробиоты почв Сибири и ее функциональной роли в рамках как теоретических, так и прикладных задач можно признать значимым.

Иными словами, учитывая большую сложность самого объекта изучения и методическую трудоемкость исполнения, можно оценить многолетнюю работу всех ее участников, как большой вклад в развитие идей В.И. Вернадского в учение о биосфере.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 376 с.
2. Добровольский Г.В., Бабьева И.П., Богатырев Л.Г. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. М.: Наука, 2003. 364 с.
3. Сочава В.Б., Волкова В.Г., Дружинина Н.П. [и др.] Метод комплексной ординации в ландшафтоведении и биогеоценологии // Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока. 1964. Вып. 5. С. 3-15.
4. Козлов К.А. Биологическая активность почв Восточной Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Таллин, 1970. 39 с.
5. Никитина З.И. Экология микроорганизмов и проблемы микробиологического мониторинга состояния наземных экосистем Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1987. 37 с.
6. Антоенко А.М. Микрофлора почв темнохвойных лесов южнотаежного Прииртышья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1975. 21 с.
7. Самбурова Е.В. Микрофлора почв предгорий Западного Саяна: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1977. 22 с.
8. Михайлова Э.Н. Микрофлора почв Онон-Аргунской степи (Юго-Восточное Забайкалье) и ее экологические связи: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1971. 20 с.
9. Барыкова Ю.Н. Микрофлора почв экосистем Койбальской степи Южно-Минусинской котловины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Алма-Ата, 1983. 22 с.
10. Напрасникова Е.В. Основные подходы, методы и результаты изучения биогенных свойств почв Шарыповского промузла (зона КАТЭКа) // Экологические проблемы урбанизированных территорий. Иркутск: Изд-во ин-та географии СО РАН, 1998. С. 105-113.
11. Аристовская Т.В. Численность, биомасса и продуктивность почвенных бактерий // Ресурсы биосферы (Итоги советских исследований по международной биологической программе). Л.: Наука, 1975. Вып. 1. С. 241-259.
12. Мамитко А.В. Динамика популяций почвенных микроорганизмов некоторых естественных и нарушенных экосистем Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1987. 20 с.
13. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 218 с.
14. Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва – память и почва – момент. Изучение и освоение природной среды. М.: Наука, 1976. С. 150-164.
15. Naprasnikova E.V., Snytko V.A. Biochemical activity of some urban soils in of East Siberia // Stadia Universitatis Babes-Bolyai. Biologia. 2002. V. XLVII. P. 55-58.
16. Напрасникова Е.В., Данько Л.В. Изучение трансформации почвенного покрова под влиянием урбанизации и техногенеза в условиях Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. 2004. № 4. С. 36-40.
17. Напрасникова Е.В. Эколого-биохимическое моделирование состояния почвенной среды городов // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2004. С. 145-159.

Поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

### Naprasnikova E.V. SOIL MICROBIOCENOSSES AND THEIR FUNCTIONAL CHARACTERISTICS UNDER SIBERIA CONDITIONS

The the analysis and results of the long-term investigations of the structure, dynamics and functional characteristics of soil microbiota under Siberia conditions is presented. The ecological-biochemical approach applied in the work made it possible to reveal the characteristics of soil-biotic resources of natural and anthropogenically changed geosystems.

*Key words:* soil; microbiocenoses; functional characteristics.