



# КОМИССИЯ ПО ГЕНЕТИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**Пункт 9.1 предварительной повестки дня**

**Девятнадцатая очередная сессия**

**Рим, 17–21 июля 2023 года**

**ПОЧВЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ И БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ,  
УЧАСТВУЮЩИЕ В БИОРЕМЕДИАЦИИ И КРУГОВОРОТЕ  
ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ**

## СОДЕРЖАНИЕ

	Пункты
I. Введение.....	1–4
II. Функции в почвенных процессах .....	5–11
III. Положение дел, тенденции и угрозы.....	12–23
IV. Сохранение и устойчивое использование.....	24–51
V. Политические и нормативно-правовые механизмы.....	52–55
VI. Сетевое взаимодействие и сотрудничество .....	56–57
VII. Потенциал в области научных исследований и образования .....	58–60
VIII. Пробелы, потребности и возможные меры.....	61–71
IX. Проект решения.....	72

## I. ВВЕДЕНИЕ

1. На своей семнадцатой очередной сессии Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства (Комиссия) утвердила "План работы по обеспечению устойчивого использования и сохранения генетических ресурсов микроорганизмов и беспозвоночных для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства" (План работы)<sup>1</sup>. В данном Плане работы микроорганизмы и беспозвоночные разделены на функциональные группы, и предусматривается, что на своей девятнадцатой очередной сессии Комиссия рассмотрит следующие две функциональные группы: i) почвенные микроорганизмы и беспозвоночные, с уделением особого внимания организмам, участвующим в биоремедиации и круговороте питательных веществ, и ii) микроорганизмы, участвующие в пищеварении жвачных<sup>2</sup>.
2. Планом работы предполагается, что каждая функциональная группа будет рассматриваться на основе следующих мероприятий: общий обзор положения дел и тенденций в области сохранения, использования, доступа и распределения выгод с учетом результатов предыдущей работы Комиссии и существующей литературы и, в случае необходимости, проведение открытого опроса в целях обобщения передового опыта устойчивого использования и сохранения; подготовка перечня региональных, международных и других организаций и учреждений, наиболее актуальных для соответствующей функциональной группы, и определение стратегических областей возможного сотрудничества; анализ пробелов и потребностей в соответствующих областях и возможностей, требующих принятия мер со стороны Комиссии и ее членов<sup>3</sup>.
3. В рамках выполнения Плана работы ФАО заказала Австрийскому технологическому институту (Вена) подготовку исследования по почвенным микроорганизмам и беспозвоночным, играющим важную роль в биоремедиации и круговороте питательных веществ в почве. Проект исследования представлен в документе "Проект исследования в области устойчивого использования и сохранения почвенных микроорганизмов и беспозвоночных, участвующих в биоремедиации сельскохозяйственных загрязняющих веществ и круговороте питательных веществ в почве"<sup>4</sup>.
4. В настоящем документе, подготовленном на основе проекта выводов исследования, представлен обзор состояния почвенных микроорганизмов и беспозвоночных, способствующих круговороту питательных веществ и биоремедиации, и запрашиваются рекомендации Комиссии относительно продолжения работы по этой группе микроорганизмов и беспозвоночных.

## II. ФУНКЦИИ В ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

5. Почвенные микроорганизмы и беспозвоночные отличаются большим разнообразием и существуют в сложных сообществах, которые играют важную роль в круговороте питательных веществ и в поддержании структуры почвы. Таким образом, они жизненно важны для производства продовольствия. Они открывают целый спектр возможностей для борьбы с загрязнением почв тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами (биоремедиация). Участвуя в круговороте углерода, они жизненно необходимы для поддержания и увеличения объемов связывания углерода в почве. В различных формах они вносят свой вклад в реализацию подхода "Единое здоровье", который направлен на защиту здоровья людей, животных, растений и окружающей среды.
6. В соответствии с Планом работы в проекте исследования особое внимание уделяется роли почвенных микроорганизмов и беспозвоночных в круговороте питательных веществ и биоремедиации.

---

<sup>1</sup> CGRFA-17/19/Report, Приложение E

<sup>2</sup> См.: CGRFA-19/23/9.2; CGRFA-19/23/9.2/Inf.1

<sup>3</sup> CGRFA-17/19/Report, Приложение E, пункт 7

<sup>4</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.1

7. Для здорового роста растениям требуется широкий спектр макро- и микроэлементов, в частности углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо, марганец, медь, цинк, молибден, бор и хлор. Растения получают углерод в процессе фотосинтеза и обычно усваивают другие питательные вещества из почвы, в которой они произрастают.

8. В ходе углеродного цикла отмерший органический материал преобразуется в органическое вещество почвы с помощью микроорганизмов и беспозвоночных, которые разлагают его. Углерод естественным образом связывается в почве благодаря участию почвенных беспозвоночных в процессах фотосинтеза и биотурбации и деятельности продуцентов оксалатов.

9. Круговорот, биодоступность и биоминерализация всех макро- и микроэлементов связаны с биологической активностью почвенных организмов. К ключевым функциям микроорганизмов относятся фиксация атмосферного азота и его преобразование в доступные растениям формы, а также биоминерализация органического фосфора в неорганические соединения.

10. Различные микроорганизмы могут активно привлекаться растениями из почвы ризосферы для колонизации внутренних тканей корня. Таким образом достигается глубокая метаболическая взаимосвязь между растением и микроорганизмами, которая часто играет решающую роль в развитии растений.

11. Подвижность и доступность большинства металлов в почве зависят от микробиологических процессов. Многочисленные аборигенные почвенные бактерии естественным образом способствуют снижению уровня токсичности, выделяя экзополисахариды, которые поглощают тяжелые металлы.

### **III. ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ, ТЕНДЕНЦИИ И УГРОЗЫ**

12. Благодаря появлению геномных подходов в последние годы значительно активизировались усилия по изучению биоразнообразия почв. Внедрение молекулярных инструментов позволяет обнаружить генетический отпечаток любого организма с высокой точностью и с большим разрешением. Современные геномные подходы ориентируются на изменчивость генов и функций, а не только на таксономическое богатство. Для определения того, требуется ли для той или иной группы организмов меры по сохранению, используются специальные экологические статистические модели.

13. Таксономически описана лишь небольшая часть почвенных микроорганизмов. Новые технологические достижения, такие как метод времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF) и высокопроизводительное секвенирование, позволяют быстро идентифицировать микроорганизмы и их количественно оценивать. Однако из-за трудностей, связанных с идентификацией на видовом уровне, знания о таксономической структуре почвенных микроорганизмов порой остаются недостаточными.

14. По имеющимся оценкам, 80–90 процентов почвенных микроорганизмов невозможно культивировать с помощью современных лабораторных методов, несмотря на многочисленные попытки преодолеть ограничения классических стратегий культивирования. Метогеномные оценки показывают, что в почвенной экосистеме доминируют филогенетически новые, сильно отличающиеся друг от друга некультивируемые микроорганизмы с неизвестными функциями. Таким образом, состояние и тенденции развития отдельных видов и даже родов микроорганизмов в основном неизвестны.

15. Что касается беспозвоночных, то, хотя их популяции могут быть успешно количественно определены и идентифицированы с помощью экономически эффективных методов, объем научной литературы, посвященной крупномасштабному пространственному распределению и временной динамике популяционного разнообразия подземных организмов, ограничен.

16. Изменения в землепользовании и интенсивное использование агрохимикатов в сельском хозяйстве привели к утрате функционального и таксономического биоразнообразия почв. Имеющиеся данные указывают на то, что такие потери огромны. Однако их масштабы по всему миру количественно не оценивались.
17. Естественному распространению, разнообразию и функциональному богатству почвенных организмов в сельскохозяйственных системах угрожает внесение чрезмерных количеств химических удобрений и недоступность методов регенеративного управления почвой. Часто отсутствуют надлежащие стратегии и законодательство по защите биоразнообразия почв.
18. Из-за недостатка необходимых научных исследований в различных регионах и производственных системах знания о воздействии конкретных методов ведения сельского хозяйства на биоразнообразие почв остаются разрозненными. В целом представляется, что обработка почвы и неправильные методы орошения могут негативно сказываться на функциях почвенной экосистемы. Было также обнаружено, что пестициды оказывают разрушительное воздействие на почвенный микробиом, однако полученные результаты оказались неравномерными, а в некоторых случаях микробиом показал способность к адаптации. Наземное биоразнообразие влияет на подземное биоразнообразие, и было выяснено, что долгосрочная монокультура негативно воздействует на различные компоненты почвенного биоразнообразия. Риски и преимущества возможного применения таких обработок, как добавление биоугля в почву и использование бактериофагов, остаются неясными и требуют дальнейших исследований.
19. Неместные виды дождевых червей, которые интродуцируются намеренно или непреднамеренно, вероятно, провоцируют сокращение разнообразия аборигенных наземных червей на нескольких континентах. Несмотря на пробелы в знаниях об их полном воздействии, в некоторых случаях было обнаружено, что они влияют на экологические функции или оказывают серьезное воздействие на компоненты местного биоразнообразия. Было также обнаружено, что другие инвазивные чужеродные беспозвоночные и микроорганизмы оказывают значительное воздействие на биоразнообразие почв.
20. Еще одной проблемой является распространение генов устойчивости к антибиотикам (ГУА) среди почвенных организмов. Основными источниками ГУА в почве являются внесение навоза животных в качестве удобрения и орошение сточными водами. ГУА могут сохраняться в почве до двух лет после внесения навоза. Использование антибиотиков в сельском хозяйстве представляет серьезную угрозу для биоразнообразия местных почвенных микроорганизмов. Антибиотики и ГУА способствуют появлению в окружающей среде штаммов бактерий с множественной лекарственной устойчивостью.
21. Биоразнообразие почв подвержено влиянию изменений температуры и влажности почвы и поэтому восприимчиво к последствиям изменения климата. Однако на основе имеющейся в настоящее время информации конкретные последствия труднопредсказуемы. Воздействие на функции микроорганизмов в углеродном цикле может быть существенным. Исследования воздействия температуры и количества осадков на микроорганизмы, участвующие в биологической азотфиксации, показывают, что последствия для них могут быть очень серьезными. Изменение климата также может сочетаться с другими угрозами, такими как загрязнение тяжелыми металлами или пестицидами.
22. Имеются экспериментальные данные об уменьшении численности определенных таксономических групп микроорганизмов и беспозвоночных в результате изменений отдельных факторов окружающей среды или методов ведения сельского хозяйства. Однако такие публикации обычно дают лишь агрегированную информацию о численности и видовом богатстве популяций или функциональных групп. О временной динамике, характерной для конкретного вида, сообщается реже.
23. Для понимания сложных экологических процессов и прогнозирования того, как реальные почвенные экосистемы могли бы меняться при определенных условиях, могут использоваться математические модели. Моделирование исчезновения почвенных организмов

является трудной задачей ввиду комплексности почвенной микросреды обитания, изменчивости размеров тела организмов и большой численности их популяций. Более того, поскольку существующие экологические концепции не могут быть применены к микроорганизмам, модели исчезновения почвенной биоты в настоящее время основываются на ограниченных экспериментальных данных, полученных в искусственных микрокосмах, и не могут быть легко масштабированы или обобщены.

#### IV. СОХРАНЕНИЕ И УСТОЙЧИВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

24. Существует настоятельная необходимость в действиях по устранению вышеописанных угроз биоразнообразию почв и разработке стратегий управления почвенным биоразнообразием, которые учитывают необходимость содействия устойчивому производству продовольствия в сочетании с целым рядом других экосистемных услуг при снижении вредного воздействия методов ведения сельского хозяйства.

25. Для успешного сохранения почвенных организмов необходимо сочетать подходы *in situ* и *ex situ*. Как указывалось выше, методы ведения сельского хозяйства часто создают угрозу для почвенного биоразнообразия. Однако доказано, что различные технологии способны восполнить потери и помочь в сохранении местных почвенных организмов. К ним относятся поддержание почвенного покрова (например, использование мульчи или покровных культур), пермакультура, использование древесных культур и агролесоводство (включая лесопастбища), диверсифицированные севообороты, использование культур местного происхождения, междурядный посев и сокращение использования пестицидов, хотя результаты варьируются в зависимости от конкретного сочетания методов и условий окружающей среды.

26. Традиционные методы хозяйствования, способствующие сохранению почвенного биоразнообразия, часто упускаются из виду. Многие такие методы могут исчезнуть до того, как удастся оценить их эффективность.

27. Компостирование веками использовалось для превращения отходов в удобрения с помощью микроорганизмов и беспозвоночных. Доказано, что использование компоста в сельском хозяйстве обеспечивает долгосрочные преимущества с точки зрения содержания питательных веществ в почве, потенциала связывания углерода и поддержания почвенного биоразнообразия, даже если объем данных о его воздействии на такое биоразнообразие на сегодняшний день ограничен.

28. Содействие более широкому и быстрому внедрению методов устойчивого использования почвенных ресурсов требует более тесного сотрудничества между фермерами и теми, кто управляет земельными ресурсами, а также учеными, инженерами и законодателями. Активному вовлечению фермеров способствовали такие подходы, как осуществляемая фермерами естественная регенерация – восстановительная форма агролесоводства, которая успешно применяется в Сахеле.

29. Сохранение почвенных микроорганизмов и беспозвоночных должно поддерживаться соответствующими руководящими принципами, которые охватывают четко определенные ключевые параметры почвы, информацию о важных организмах-индикаторах и тщательно подобранные стандарты качества, позволяющие проводить сравнительную оценку.

30. Защита почвенного биоразнообразия *in situ* в некоторых случаях должна дополняться программами восстановления почв, включающими, среди прочих мер, повторную интродукцию истощенных или локально исчезнувших почвенных организмов из коллекций *ex situ*.

31. Там, где усилия по сохранению сосредотачиваются на отдельных видах, беспозвоночными и особенно микроорганизмами, как правило, пренебрегают из-за их "невидимости", недостаточной оценки их важности и отсутствия в таких списках, как Красный список находящихся под угрозой исчезновения видов Международного союза охраны природы.

32. Большинство исследований по вопросам утраты биоразнообразия почв на сегодняшний день посвящены изучению воздействия отдельных угроз, а не множественным угрозам,

действующим одновременно, и, следовательно, не содержат достаточного объема информации, позволяющей эффективно планировать управленческие мероприятия.

33. Разнообразии почвенных организмов варьируется по всему миру, причем было установлено, что различные места являются очагами различий в сообществах, видового богатства или предоставления экосистемных услуг, и каждое из них потенциально требует различного набора мероприятий для их сохранения. В настоящее время защищена лишь небольшая часть таких очагов. В некоторых частях мира особенно не хватает данных о биоразнообразии почв, что затрудняет планирование эффективных мероприятий по содействию их сохранению и устойчивому использованию.

34. Для оценки необходимости мер по сохранению и других управленческих мероприятий требуются высококачественные экологические данные. Однако сбор таких данных, особенно долгосрочных данных о популяциях, может занимать много времени и быть дорогостоящим. Из-за недостаточности данных о распространении и экологии целевых видов часто невозможно перенести модели сохранения и их применение в другие районы. Использование моделей для прогнозирования изменений экосистем в будущих условиях окружающей среды и для поддержки устойчивого управления требует стандартизации сбора данных, лабораторных протоколов, анализа данных и моделирования.

35. Недостаток данных означает, что планирование мероприятий по сохранению частично осуществляется с использованием косвенных данных, таких как данные о суррогатных видах, которые применяются в качестве показателей для достижения поставленной цели. Также можно использовать показатели состояния экосистемы или здоровья почвы, такие как содержание органического углерода и удержание воды в почве. Разработка статистических экологических моделей, позволяющих оптимизировать множество задач, связанных с сохранением окружающей среды и продуктивностью, довольно сложна. Подходы к оптимизации, основанные на суррогатных моделях, могут обеспечить формирование систем управления с приемлемой точностью прогнозирования, которые легко адаптируются к различным параметрам и типам пространственных и временных данных.

#### *Коллекции культур*

36. Коллекции микробных культур служат центрами по идентификации и сохранению почвенных микроорганизмов, а также источниками микроорганизмов для научных исследований и применения. Наиболее полный каталог коллекций культур и база данных признанных микроорганизмов доступны на веб-странице Всемирной федерации коллекций культур<sup>5</sup>, которая содержит информацию о 768 коллекциях культур из 76 стран. База данных Всемирного центра данных о микроорганизмах<sup>6</sup> – это каталог мировых коллекций, который позволяет получить информацию о более чем 3 млн микроорганизмов и клеточных линий из 831 коллекции культур из 78 стран. Некоторые коллекции могут быть утрачены из-за нехватки финансирования, в том числе на кадровые нужды, или из-за стихийных бедствий, и необходимы меры для обеспечения их сохранности на будущее.

37. В зависимости от поставленных целей может быть использован целый ряд технологий сохранения *ex situ*. Методы длительного хранения включают криоконсервацию, подводное хранение и лиофилизацию. Сохранение некоторых организмов в наиболее жизнеспособной форме требует их поддержания на основе почвы и субстрата, иногда совместно с симбиотическим партнером организма, например, как в случае арбускулярных микоризных грибов (АМГ). Хотя для некоторых из них требуется высокоэнергетическое оборудование, методы длительного хранения имеют много преимуществ и используются в большинстве коллекций культур.

38. Среди факторов, затрудняющих поддержание коллекций микробных культур, следует назвать дефицит обученного персонала и передовых технологий для осуществления

---

<sup>5</sup> <https://wfcc.info>

<sup>6</sup> <https://www.wdcm.org>

высокопроизводительного культивирования, культивирования всего микробиома и размножения организмов, которые в настоящее время не культивируются. Также часто отсутствует координация между коллекциями.

#### *Использование культивируемых и трансплантированных организмов*

39. Биодобрения – готовые к применению сельскохозяйственные продукты, содержащие культивированные и отобранные микроорганизмы, которые могут повышать доступность питательных веществ в почве. К полезным бактериям, которые обладают свойствами, способствующими росту растений или азотфиксирующими способностями и широко используются в биодобрениях, относятся бактерии из родов *Rhizobium*, *Azotobacter* и *Azospirillum*. На рынке также представлено множество продуктов, содержащих АМГ. Однако жизнеспособность и надежность многих из этих инокулянтов остаются под вопросом, поскольку они часто не приживаются в полевых условиях. Исследования преимуществ микробных инокулянтов в основном проводились в условиях теплиц.

40. Микробные инокулянты могут представлять угрозу для аборигенных почвенных организмов. Хотя большинство исследований на сегодняшний день показали, что такое воздействие является ограниченным, требуются дополнительные научные исследования. Воздействие биопестицидов на почвенное биоразнообразие также требует лучшего изучения.

41. Использование дождевых червей при компостировании широко распространено, и они широко доступны для покупки с этой целью. На рынке средств биологической борьбы с вредителями можно найти препараты на основе нематод для внесения в почву в виде капсул или высушенных культур. Виды энтомопатогенных нематод широко используются для борьбы с сельскохозяйственными вредителями и массово выводятся путем инкубации в биореакторах.

42. Селекционное разведение почвенных беспозвоночных встречается нечасто. На исследовательском уровне были получены многообещающие результаты по таким характеристикам, как биомасса, время созревания, скорость образования коконов и успешность появления новых особей дождевого червя *Eisenia fetida*. Попытки селективного разведения почвенных нематод для улучшения привлекательности корневого сигнала, устойчивости к высыханию и селективного поиска хозяина показали, что манипулирование ключевыми признаками может быть эффективным, если наследуемость выбранного признака достаточно высока или если полезные признаки стабилизированы в инбредных линиях.

43. Новым подходом становится использование целых микробиомов (или микробных консорциумов), а не отдельных видов или смесей видов в качестве биостимуляторов, биодобрений и биопестицидов в сельском хозяйстве. Иногда они оказываются более эффективными, чем отдельные виды, возможно, из-за эффекта взаимодополняемости. Некоторые успехи были достигнуты благодаря реинтродукции аборигенных сообществ АМГ и всего почвенного микробиома в целом, что способствовало восстановлению аборигенной растительности.

44. Из-за его сложной природы применение микробиома, связанного с растениями, сопряжено с рядом проблем, в том числе касающихся одобрения регулируемыми органами, для чего в настоящее время требуется идентификация штаммов в микробиологических продуктах, а это невозможно в случае микробиомного продукта, содержащего сотни тысяч микроорганизмов. Необходимо унифицировать или стандартизировать протоколы исследований почвенного микробиома и улучшить междисциплинарные связи между сообществами исследователей микробиома (человека, окружающей среды, растений и животных).

#### *Использование в биоремедиации*

45. Для восстановления участков, загрязненных тяжелыми металлами, можно использовать несколько технологий. Традиционный подход с использованием физико-химических методов может оказаться дорогостоящим и быть связан с опасным излучением или химическими веществами. Биоремедиация – это безопасная, недорогая и относительно экологичная

альтернатива, которая особенно подходит для удаления низких концентраций загрязняющих веществ. Термин "биоремедиация" означает биологическую обработку *in situ*, при которой применяются почвенные микроорганизмы и которая в основном используется для разложения органических загрязнителей, включая нефтяные углеводороды, растворители и пестициды, а также для преобразования различных видов микроэлементов с целью снижения их доступности.

46. Биоремедиация с помощью биосорбции (сорбция биологическим материалом) позволяет проводить очистку от тяжелых металлов без образования токсичного осадка или вторичных загрязнителей. Это можно делать как с живой, так и с мертвой микробной биомассой. Использование мертвых клеток имеет то преимущество, что их можно легко хранить в порошкообразном виде и, следовательно, их не нужно поддерживать в особых условиях роста, необходимых живым микроорганизмам. В то время как биоаккумуляция (накопление загрязняющего вещества в организме) является активным процессом, который зависит от метаболизма микроорганизмов и частично обратим, биосорбция – это независимый от метаболизма, обратимый процесс, который не требует больших затрат энергии или идеальных условий для дыхания. Другим методом биоремедиации является использование организмов, способных преобразовывать токсичные формы загрязняющего вещества в нетоксичные и менее подвижные формы.

47. Было установлено, что дождевые черви способны снижать концентрацию различных тяжелых металлов в почве. Многообещающие результаты показало комбинированное использование дождевых червей и микроорганизмов.

48. Хотя можно стимулировать аборигенные сообщества микроорганизмов и беспозвоночных, уже присутствующих в почве, чтобы способствовать разложению конкретного местного загрязнителя (биостимуляция), более распространенным подходом является выделение определенных штаммов микроорганизмов с загрязненного участка и культивирование их в лаборатории для последующего использования в работах по инокуляции почвы (биоаугментация).

49. Идеальный способ получить хорошие микроорганизмы – кандидаты для биоремедиации – это собрать образцы на месте и выделить устойчивые к тяжелым металлам штаммы с помощью специального генетического набора инструментов, необходимого для трансформации загрязняющего вещества. Внесение биоинженерных или неместных микроорганизмов в почву проблематично даже на загрязненных участках, хотя они предлагают быстрый и простой способ обработки осадка сточных вод в закрытых системах, где возможна стерилизация или уничтожение организмов до того, как биоремедируемый материал будет использован в полевых условиях. Любая биоремедиация, связанная с использованием живых организмов, должна проводиться с учетом надлежащей оценки возможных рисков для здоровья человека или животных или для местной экосистемы.

50. Помимо тяжелых металлов, микроорганизмы также могут использоваться при биоремедиации почв, загрязненных остатками различных пестицидов. Однако информации об использовании таких подходов на практике мало.

51. Многие микроорганизмы и дождевые черви, добавляемые в почву для снижения биоаккумуляции или биодоступности токсичных субстанций, также могут одновременно способствовать росту растений, повышению плодородия почвы и доступности питательных веществ.

## V. ПОЛИТИЧЕСКИЕ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

52. На глобальном уровне в 2002 году Конференция Сторон (КС) Конвенции о биологическом разнообразии (КБР) постановила учредить Международную инициативу по сохранению и устойчивому использованию почвенного биоразнообразия<sup>7</sup> в рамках программы работы по биологическому разнообразию сельского хозяйства. ФАО и другим соответствующим организациям было предложено содействовать осуществлению этой

---

<sup>7</sup> Решение VI/5



инициативы и обеспечить ее координацию<sup>8</sup>. В 2006 году Конференция Сторон одобрила структуру действий в качестве основы для реализации данной инициативы<sup>9</sup>. В 2022 году на своем 15-м совещании КС приняла новый план действий по осуществлению инициативы на период 2020–2030 годов<sup>10</sup>. В документе "Доклад о ходе осуществления Международной инициативы по сохранению и устойчивому использованию почвенного биоразнообразия"<sup>11</sup> представлена обновленная информация о деятельности, осуществляемой в рамках данной инициативы. Конференция Сторон КБР на своем 15-м совещании поручала провести стратегический обзор и анализ программ работы КБР в контексте Куньминско-Монреальской глобальной рамочной программы в области биоразнообразия в целях содействия ее осуществлению и подготовить проекты обновленных вариантов этих программ работы для их рассмотрения на 16-м совещании КС<sup>12</sup>. Кроме того, на глобальном уровне в Рамочной программе действий в области биоразнообразия для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства<sup>13</sup> содержится ряд конкретных ссылок на сохранение биоразнообразия и здоровья почвы.

53. На национальном уровне большинство стран включают некоторые меры, касающиеся почв, в свои национальные стратегии и планы действий по сохранению биоразнообразия (НСПДСБ). Однако только немногие из них принимают меры, нацеленные на сохранение почвенного биоразнообразия. В своих национальных докладах для КБР страны ссылались на трудности в выявлении и понимании проблематики почвенного биоразнообразия и на недостаток опыта и инструментов в этой области. Данных для оценки воздействия национальных мер политики часто не хватает.

54. В целом, лишь немногие страны внедрили эффективные политические и нормативно-правовые механизмы для обеспечения устойчивого использования и сохранения биоразнообразия почв, а те, которые такие механизмы внедрили, в основном сосредоточены в развитых регионах мира. При этом, примеры стран, принимающих меры политики, касающиеся сохранения биоразнообразия почв, можно найти во всех регионах мира.

55. Международный обмен почвенными микроорганизмами и беспозвоночными зависит от нормативно-правовой базы, касающейся как доступа и распределения выгод, так и санитарной и фитосанитарной защиты. Карантинные меры служат для защиты почвенного биоразнообразия на местах от угроз, связанных с болезнями и чужеродными инвазивными видами.

## VI. СЕТЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СОТРУДНИЧЕСТВО

56. Свой вклад в управление почвенным биоразнообразием вносят многие глобальные и региональные сети. Видное место среди них занимает Глобальное почвенное партнерство (ГПП)<sup>14</sup>. ГПП – это признанный во всем мире механизм, созданный в 2012 году с целью интеграции в глобальную повестку дня вопросов, касающихся почвенных ресурсов, и содействия устойчивому управлению почвами. ГПП, действующее при ФАО, работает над совершенствованием процесса управления почвенными ресурсами с тем, чтобы гарантировать плодородие почв и способствовать обеспечению продовольственной безопасности, адаптации к изменению климата и смягчению его последствий, а также устойчивого развития для всех<sup>15</sup>.

57. В декабре 2021 года была создана Международная сеть по почвенному биоразнообразию (NETSOB)<sup>16</sup>, призванная содействовать устойчивому использованию и сохранению почвенного биоразнообразия и объединить экспертов и действующие инициативы

<sup>8</sup> Решение VI/5

<sup>9</sup> UNEP/CBD/COP/DEC/VIII/23

<sup>10</sup> CBD/COP/DEC/15/28

<sup>11</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.2

<sup>12</sup> CBD/COP/DEC/15/4, пункт 9

<sup>13</sup> CGRFA-18/21/Report, Приложение С

<sup>14</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/en>

<sup>15</sup> См.: CGRFA-19/23/9.1/Inf.2

<sup>16</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/netsob/en>

в этой области и обеспечить их вклад в работу Глобальной обсерватории по биоразнообразию почв (GLOSOB).

## **VII. ПОТЕНЦИАЛ В ОБЛАСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ**

58. В последние десятилетия из-за нехватки квалифицированных таксономистов и кураторов появилось "таксономическое препятствие" в области почвенной микробиологии, т. е. отсутствие возможностей обновлять информацию о некоторых таксонах и неправильно идентифицированных видах и обрабатывать большие объемы таксономических данных, добавляемых в базы данных. Вместе с тем наблюдается резкий рост числа научно-исследовательских работ, обзоров, книг, новых журналов, специальных выпусков, конференций и научных сетей, посвященных темам, связанным с почвенными ресурсами.

59. Программы гражданской науки могут внести важный вклад в сбор данных о почвенных ресурсах, в том числе о распределении видов, силами специалистов-добровольцев по сбору данных. Было реализовано несколько успешных инициатив, но только в нескольких странах.

60. Повышение общественной значимости проблематики почвенного биоразнообразия и осведомленности по этим вопросам требует проведения информационно-разъяснительной работы. Для содействия внедрению усовершенствованных методов управления необходимо, чтобы фермеры и землевладельцы проходили специальную подготовку и обучение. Были приняты различные меры, включая разработку образовательных веб-сайтов и включение обучения по темам, связанным с почвой, в работу полевых школ фермеров. Однако лишь в немногих НСПДСБ содержатся конкретные планы по обучению фермеров и других заинтересованных сторон методам управления почвенными ресурсами или по поддержке междисциплинарных исследовательских сетей, нацеленных на сохранение биоразнообразия почв.

## **VIII. ПРОБЕЛЫ, ПОТРЕБНОСТИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕРЫ**

61. Предстоит восполнить основные пробелы в знаниях о микроорганизмах и беспозвоночных, участвующих в различных процессах оборота питательных веществ в почве, в том числе о том, как на них влияют методы ведения сельского хозяйства, а также об их роли в возможной замене традиционных фосфорных удобрений, в связывании углерода, о связи между их функциями в фиксации азота и в производстве метана и о влиянии ГУА на них. Существует потребность в совершенствовании баз данных микробных генов и новых методов прогнозирования и количественной оценки функций микроорганизмов.

62. Совершенствование биоремедиации требует лучшего понимания взаимодействия между бактериями, грибами и беспозвоночными. Особое внимание необходимо уделять функциям беспозвоночных в биоремедиации тяжелых металлов и пестицидов, совершенствованию методов биоремедиации *in situ*, биоремедиации при воздействии нескольких загрязняющих веществ и идентификации организмов-биоиндикаторов.

63. Карты и базы данных, содержащие информацию о состоянии и тенденциях почвенного биоразнообразия и таких угрозах, как инвазивные организмы и загрязнение почвы, нуждаются в обновлении и расширении, возможно, за счет использования новых технологий, таких как дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты и роботы.

64. Необходимо уделять внимание повышению эффективности микробных продуктов, таких как биоудобрения, в полевых условиях, предотвращению нецелевого воздействия на местное биоразнообразие и функции почвы, а также изучению потенциальных преимуществ использования микробных консорциумов, а не отдельных штаммов. Необходимо определить, что представляет собой "здоровая" почва и как этот показатель можно количественно оценивать в различных условиях.

65. Также следует лучше информировать фермеров и широкую общественность о результатах научных исследований, например касающихся выгод от обеспечения почвенного биоразнообразия и применения устойчивых методов ведения сельского хозяйства, и полнее

вовлекать заинтересованные стороны в научно-исследовательскую деятельность, распространение информации и разработки.

66. Для повышения эффективности сохранения почвенных микроорганизмов и беспозвоночных необходимо углубить знания об их состоянии (базовые обследования и частый длительный мониторинг), улучшить обмен информацией, активизировать усилия по преодолению пренебрежительного отношения к этим организмам при планировании мер по сохранению и наметить способы стимулирования к внедрению методов ведения сельского хозяйства, которые приносят им пользу. Необходимы программы сохранения местных сельскохозяйственных культур и деревьев и связанной с ними местной микробиоты и беспозвоночных.

67. Для укрепления мер по сохранению *ex situ*, а также для улучшения понимания функций микроорганизмов необходимо разработать протоколы и высокопроизводительные технологии, которые могут способствовать культивированию "некультивируемых" групп и целых микробиомов. Также существует необходимость в централизованном размещении штаммов микроорганизмов. Нехватка финансирования и подготовленного персонала в настоящее время является серьезным препятствием для сохранения *ex situ*. Очень важно создавать коллекции, специализирующиеся на культивировании оставленных без внимания почвенных организмов или организмов, которые трудно размножить или культивировать в лабораторных условиях.

68. Необходимо разработать более совершенные методы восстановления почв в сильно нарушенных районах, например, деградированных в результате нерациональных методов ведения сельского хозяйства. Это потребует целостного понимания взаимосвязей между растениями, беспозвоночными, простейшими, бактериями, грибами, вирусами и связанными с ними функциями почвы. Следует нацеливаться на микробиомы, а не на отдельные организмы или ограниченные группы организмов. Утраченные почвенные организмы потенциально могут быть получены из коллекций *ex situ* и вновь интродуцированы.

69. Необходимо совершенствовать некоторые нормативно-правовые акты, имеющие отношение к управлению почвенным биоразнообразием. Например, требование о регистрации на уровне штамма потенциально препятствует внедрению в сельскохозяйственное производство продуктов, содержащих несколько микроорганизмов. Возможно, также потребуются пересмотреть правила ввоза беспозвоночных. Другие требования включают повышение контроля качества в отношении жизнеспособности микробных продуктов. Следует активно привлекать ученых и кураторов культурных коллекций к разработке мер политики.

70. Необходимо развивать стратегическое, междисциплинарное международное сотрудничество в следующих областях:

- разработка стратегий для улучшения охвата общественности и заинтересованных сторон и коммуникации с ними, включая информационные материалы о почвенных организмах и их использовании;
- содействие проведению междисциплинарных и международных научных исследований и развитию партнерских связей по темам, касающимся почвенного биоразнообразия;
- передача знаний между сельскохозяйственным, академическим, промышленным секторами и секторами, формирующими политику, для улучшения продуктов, совершенствования соответствующего законодательства и схем финансирования научных исследований;
- координация научных исследований и разработка протоколов, определяющих концепцию "здорового" почвенного микробиома и общепринятые лабораторные методы и методы анализа; и
- гармонизация программ мониторинга, сетей, инициатив и баз данных, имеющих отношение к почвенному биоразнообразию.

71. Возможные мероприятия по совершенствованию мер по сохранению и устойчивому использованию почвенных микроорганизмов и беспозвоночных могли бы включать следующее:

- необходимо разработать руководящие принципы и стандартные операционные процедуры для определения "здоровых почв" и использовать их при сравнительной оценке почвенного биоразнообразия. Эти руководящие принципы и процедуры должны включать четко определенные ключевые параметры почвы, которые охватывают биологические параметры, такие как таксоны микробов/беспозвоночных, указывающие на здоровье почвы, и тщательно подобранные стандарты качества;
- необходимо выработать консенсус по следующим вопросам: а) наиболее важные функции почвы; б) параметры для включения в оценки воздействия новых методов ведения сельского хозяйства на почву; в) ключевые параметры почвенного биоразнообразия; и д) унифицированные процедуры отбора проб, лабораторных исследований и анализа почвенного биоразнообразия;
- рекомендации по идеальным почвенным условиям, а также по передовой практике и мероприятиям по рациональному использованию почв в сельском хозяйстве должны основываться на долгосрочных наблюдениях, проведенных в различных условиях окружающей среды и географических регионах;
- внедрение перспективных методов ведения сельского хозяйства, полезных для сохранения почвенного биоразнообразия, необходимо поддерживать путем совершенствования оценки их применимости и простоты внедрения, при этом также следует учитывать потенциальные нежелательные последствия;
- необходимо совершенствовать функциональность, стандартизацию и ведение баз данных о параметрах здоровья почвы и характеристиках почвенного биоразнообразия в региональном масштабе;
- решение сложных проблем, связанных с защитой почв в сельскохозяйственных системах, требует научных подходов, которые являются междисциплинарными и вовлекают широкий круг специалистов, включая химиков-экологов, биологов, агрономов и таксономистов;
- необходима более активная и качественная координация между многочисленными научно-исследовательскими мероприятиями и научными сетями, работающими по проблематике устойчивого использования и сохранения почвенных микроорганизмов и беспозвоночных;
- важное значение имеют повышение осведомленности и наращивание потенциала в области сохранения почвенного биоразнообразия посредством просвещения и вовлечения производителей, а также более эффективного распространения информации и работы с общественностью;
- уже действующие инициативы по сохранению *ex situ* и *in situ* нуждаются в лучшей координации; они также должны учитывать потребности в культивировании и сохранении недостаточно изученных групп почвенных организмов;
- необходимо наметить краткосрочные и долгосрочные цели по сохранению и устойчивому использованию почвенных организмов и составить для них приоритетный перечень.

## IX. ПРОЕКТ РЕШЕНИЯ

72. Комиссии предлагается:

- i) принять к сведению проект исследования и представить по нему свои замечания;
- ii) рекомендовать завершить работу над исследованием, распространить его и довести до сведения ГПП и КБР;
- iii) учесть выводы и рекомендации исследования и рассмотреть последующие действия Комиссии и ее членов, направленные на дальнейшую активизацию деятельности, связанной с почвенными микроорганизмами и беспозвоночными, уделяя особое внимание организмам, участвующим в биоремедиации и круговороте питательных веществ;

- iv) рекомендовать ФАО, по мере необходимости, обеспечить учет результатов исследования в своей деятельности в областях, касающихся рационального использования почвенных микроорганизмов и беспозвоночных;
- v) предложить членам содействовать устойчивому использованию и сохранению почвенных микроорганизмов и беспозвоночных и обеспечить уделение им должного внимания в мерах политики, разрабатываемых и реализуемых на местном, национальном, региональном и международном уровнях;
- vi) призвать соответствующие заинтересованные стороны, включая научные учреждения, к сотрудничеству по вопросам устойчивого использования и сохранения почвенных микроорганизмов и беспозвоночных, в особенности в области наращивания потенциала развивающихся стран и стран с переходной экономикой;
- vii) предложить членам и заинтересованным сторонам активизировать научные исследования почвенных микроорганизмов и беспозвоночных, в частности методов их сохранения и культивирования, а также воздействия методов ведения сельского хозяйства на почвы, и усилить программы оценки и мониторинга биоразнообразия почв; и
- viii) поручить Секретариату сотрудничать с соответствующими экспертами в разработке конкретных рекомендаций по почвенным микроорганизмам и беспозвоночным для дальнейшего рассмотрения Комиссией на ее следующей сессии.