

УДК 631.461.74:633.18.03

ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА КОРНЯХ РИСА

О. Д. СИДОРЕНКО, В. В. БЛИНОВ, В. Т. ЕМЦЕВ
(Кафедра микробиологии)

Физиологическая роль железа и марганца в растениях связана прежде всего с их участием в окислительно-восстановительных процессах. Эти элементы входят в состав ряда ферментных систем и участвуют во многих важнейших процессах, происходящих в растительном организме: фотосинтезе, дыхании, углеводном и белковом обмене. Марганец способствует активному усвоению аммиачного азота растениями, восстановлению углекислого газа при фотосинтезе, повышению транспирации воды листьями, улучшению фосфорного питания [5, 16, 20].

Трансформация марганцевых соединений в почвах зависит в первую очередь от активности микроорганизмов, окисляющих и восстанавливающих марганец [3, 18], а также от каталитической активности тонкодисперсных почвенных частиц.

Благодаря наличию кислорода в корнях риса и выделению его в ризосферу растения защищены от таких токсических веществ, как сероводород, закисное железо и марганец, метан, и ряда других продуктов анаэробного разложения. Закисные соединения, обычно ядовитые для растений, в аэробной зоне подвергаются окислению, частично выпадают в осадок и, сохраняя в свежееосажденном состоянии высокую доступность, используются рисом в процессе питания [9]. Как отмечает С. Мицуи [6], корни риса, культивируемые в суходольных условиях, имеют белый цвет, а при затоплении почвы они покрываются желто-коричневой пленкой окислов железа.

В илах и затопленных почвах под культурой риса интенсивно развиваются специфические микроорганизмы, участвующие в процессе окисления соединений железа и марганца [7, 11].

Бактерии, окисляющие железо и марганец, могут способствовать освобождению почвы от избытка закисных солей железа и марганца, снижать их концентрацию до благоприятного для растений уровня. Кроме того, переводя растворимые закисные соединения железа и марганца в нерастворимые окисные, такие микроорганизмы могут создавать в почвах постоянный запас этих элементов.

Однако, несмотря на имеющиеся данные о жизнедеятельности микроорганизмов, окисляющих марганец, их развитие на корнях риса исследовано крайне недостаточно. В связи с этим нами изучалась возможность участия специфических окисляющих марганец микроорганизмов в отложении окислов марганца и железа на корнях риса.

Материал и методы

Объектом исследований служила корневая система риса сорта Краснодарский 424, культивируемого в рисосовхозе «Красноармейский» Краснодарского края на лугово-болотной черноземовидной среднесуглинистой почве.

Населяющие почву микроорганизмы исследовали по методу стекол обрастания. Для получения срезов корней риса применяли метод парафиновых блоков с использованием замораживающего микротомата. Стерильные ростки картофеля, полученные из верхушечной меристемы [2], выращивали на среде Уайта при температуре 23°.

Содержание железа и марганца в железомарганцевых новообразованиях на корнях риса определяли на атомном абсорбционном спектрофотометре «Perkin-Elmer 503». Эти соединения окрашивали с помощью гексацианоферрата калия, роданида калия и солянокислого бензидина.

Микроскопирование микроорганизмов, стекол обрастания, корней риса осуществлялось в фазовом контрасте, темном и светлом полях с использованием микроскопов МБИ-6 и Wild-7.

Результаты и их обсуждение

По данным микроскопических наблюдений, проводившихся на протяжении всего вегетационного периода (фазы кущения, трубкования, колошения), на корнях риса в значительном количестве встречаются железомарганцевые образования, имеющие вид конкреций и чехлов (рис. 1). Среднее содержание железа и марганца в этих структурах составляло соответственно 31,1 и 0,7%.

В некоторых чехлах и конкрециях, как показали их микроскопирование в отраженном свете и окраска соответствующими реактивами, преобладали либо окислы железа, либо окислы марганца. Некоторые чехлы и конкреции почти полностью состояли из одного марганца. В случае доминирования железа окислы марганца были как бы вкраплены в железистые скопления.

Величина и форма конкреций различны. Они достигали 3 мм и имели лопатную форму с ноздреватой поверхностью, другие, более мелкие (до 1 мм), — округлую форму. Конкреции и чехлы располагались по всей длине корневой системы риса.

Выявленные нами на корнях риса образования были обнаружены рядом исследователей на корнях растений, растущих преимуще-

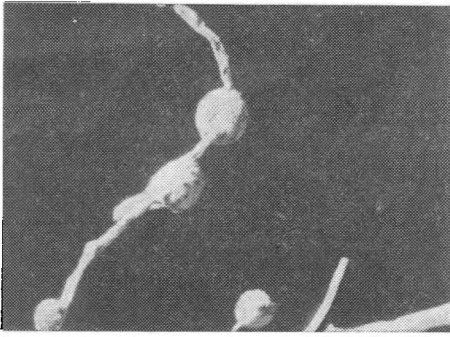


Рис. 1. Железо-марганцевые конкреции на корнях риса (X 20).

щественно на затопленной либо на переувлажненной почве: камыш *Scirpus rufus*, ситник *Juncus balticus* [19]; тростник *Phragmites* [21]; канареечник *Phalaris arundinacea* [12]; костер безостый *Bromus inermis*, бородач *Andropogon gerardii* [13]. Подобным железо-марганцевым структурам различными авторами были даны следующие названия: педотубулы [14], цилиндрические железо-марганцевые конкреции, ризоконкреции [17], трубчатые стволы [22].

В настоящее время отсутствует единое мнение о происхождении таких структур на корнях растений. Одни исследователи связывают их появление и исчезновение с климатическими факторами, чередованием сухих и дождливых периодов [13], другие — с окислительными свойствами кислорода воздуха [15]. В отдельных работах высказывается предположение об участии микроорганизмов в этом процессе [12]. Отмечается также [1, 7], что формирование железо-марганцевых конкреций в илах, почвах протекает при непосредственном участии специфических микроорганизмов *Metallogenium Perf.*, *Pedomicrobium Arist.*, *Naumannella Veg.* Формирование конкреций этими микроорганизмами было воспроизведено в лабораторных условиях [10].

Проведенные нами исследования позволили выявить тесный контакт железо-марганцевых новообразований и корня (рис. 2, а, б). В ряде случаев отложение железа и марганца наблюдались непосредственно в корнях растений риса (рис. 2, в). После обработки некоторых железо-марганцевых отложений растворами щавелевой кислоты отдельные новообразования приобретали клеточно-нитчатое строение (рис. 2, г).

В целях выделения микроорганизмов, обуславливающих образование железо-марганцевых структур, участки корней риса с

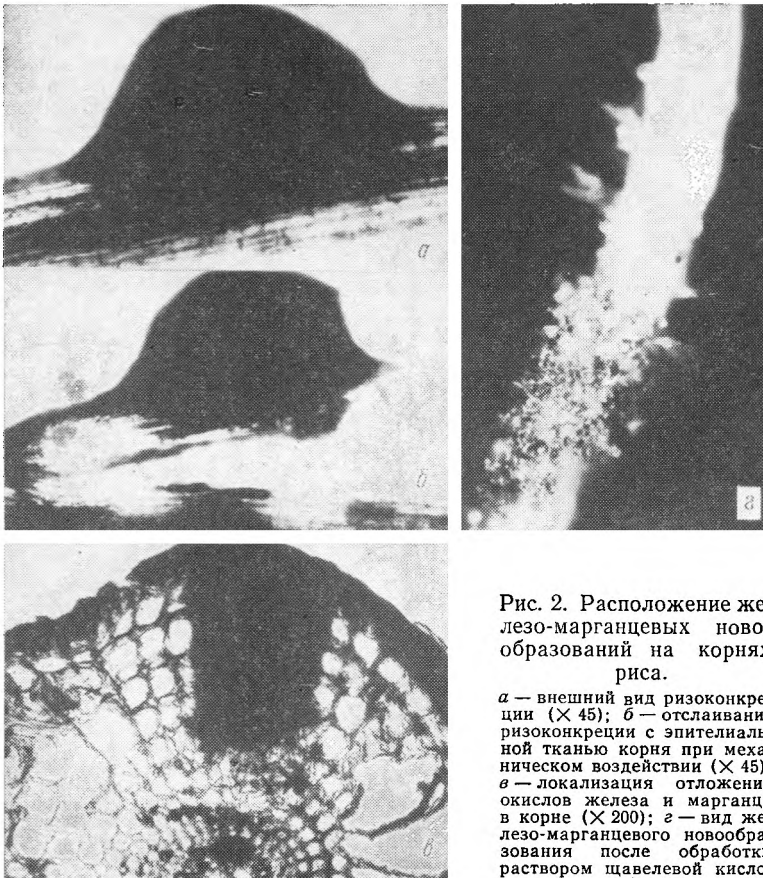


Рис. 2. Расположение железо-марганцевых новообразований на корнях риса.

а — внешний вид ризоконкреции (X 45); б — отслаивание ризоконкреции с эпителиальной тканью корня при механическом воздействии (X 45); в — локализация отложений окислов железа и марганца в корне (X 200); г — вид железо-марганцевого новообразования после обработки раствором щавелевой кислоты (X 90).

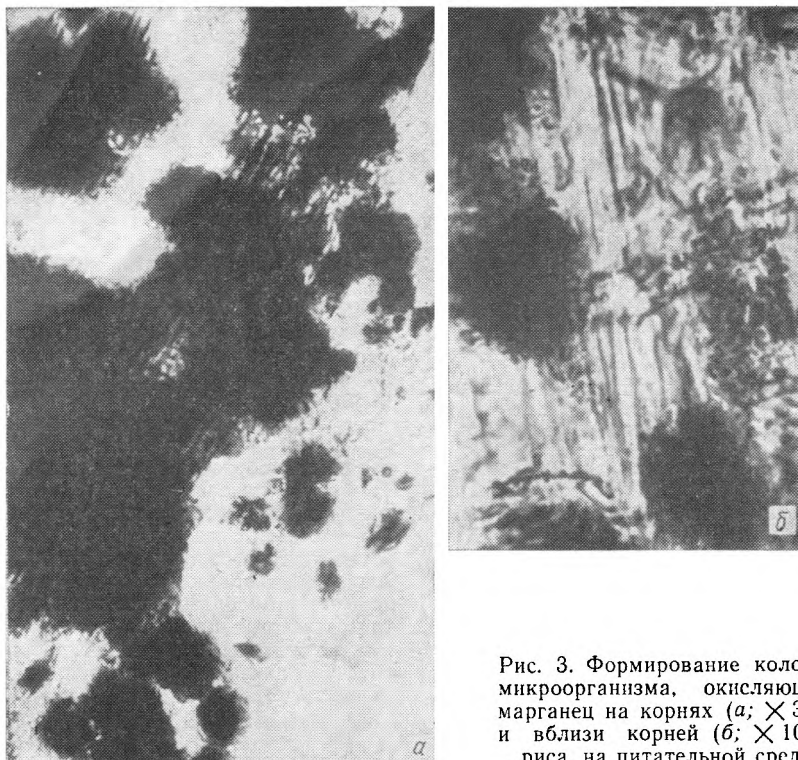


Рис. 3. Формирование колоний микроорганизма, окисляющего марганец на корнях (а; $\times 300$) и вблизи корней (б; $\times 1000$) риса, на питательной среде.

отложениями марганца и железа помещали на модифицированную среду Лиске [4]. Питательная среда имела следующий состав: уксуснокислый марганец — 0,1 г, глюкоза — 5,0 г, концентрированные отвары корней ри-

са — 100,0 мл, сыворотка крови крупного рогатого скота — 5,0 мл, смесь микроэлементов — 1,0 мл, вода дистиллированная — 900 мл, выщелоченный агар — 15,0 г. Через 7—10 дней на корнях и вокруг них наблю-

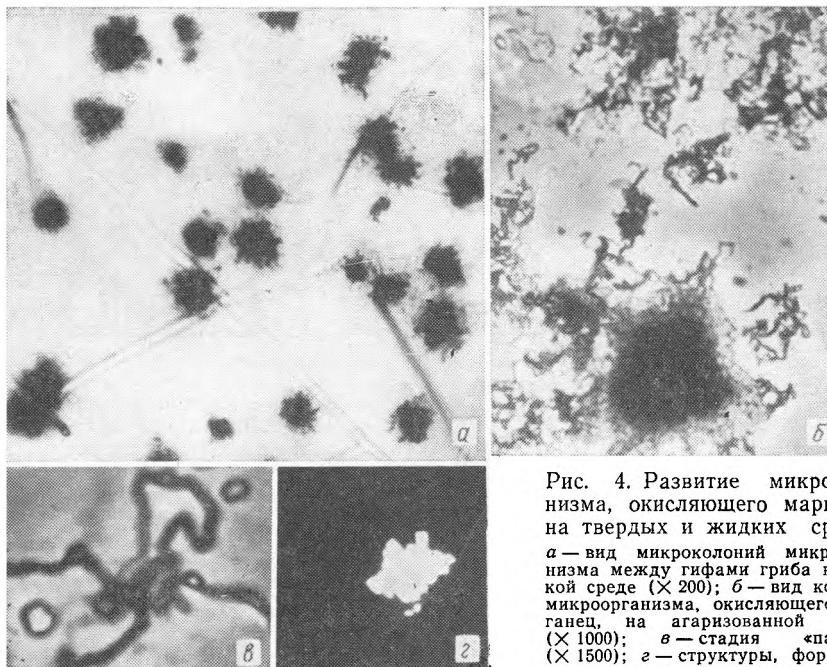


Рис. 4. Развитие микроорганизма, окисляющего марганец, на твердых и жидких средах. а — вид микроколоний микроорганизма между гифами гриба в жидкой среде ($\times 200$); б — вид колонии микроорганизма, окисляющего марганец, на агаризованной среде ($\times 1000$); в — стадия «паучка» ($\times 1500$); г — структуры, формируемые микроорганизмом в жидких средах ($\times 500$).

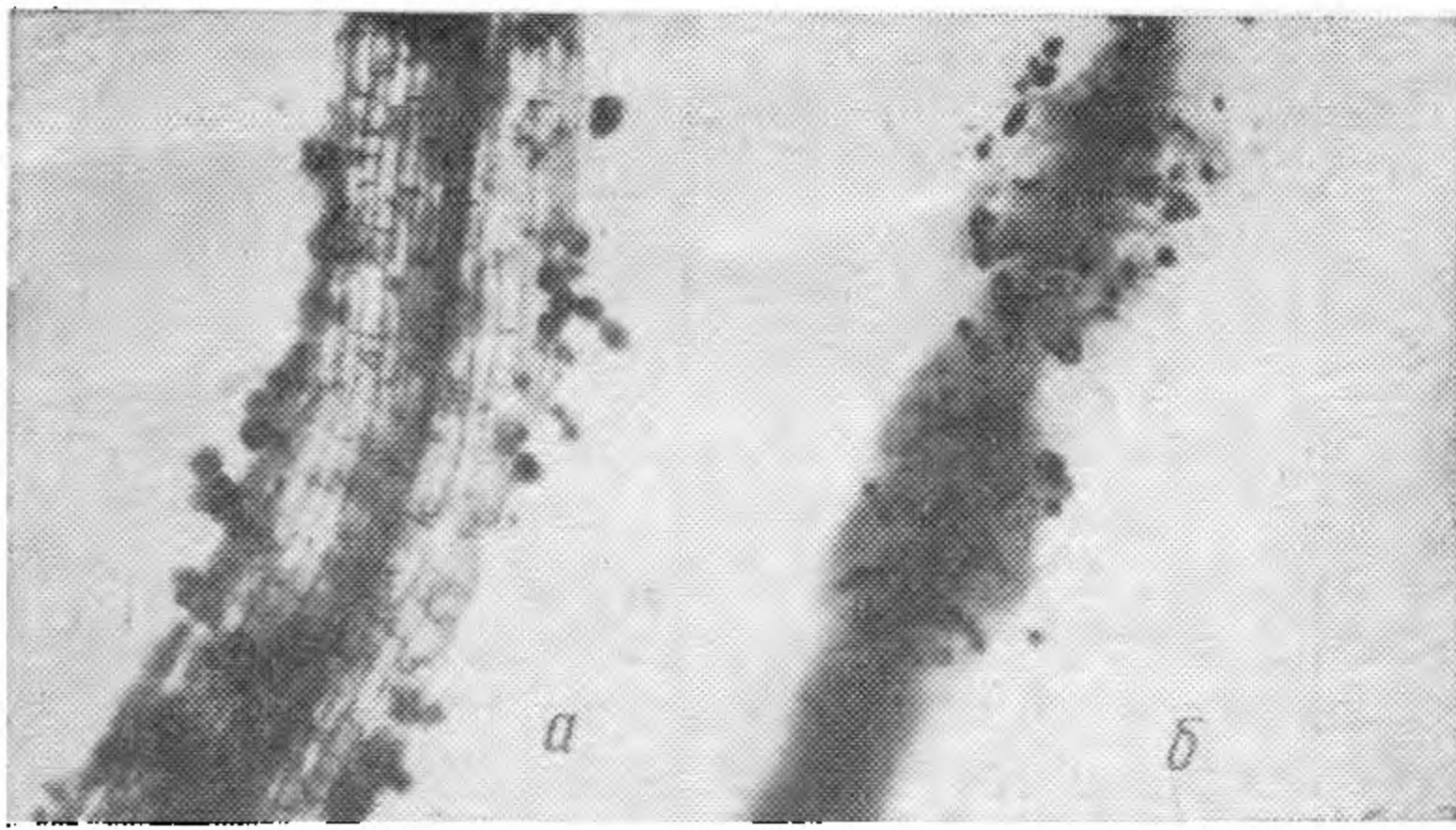


Рис. 5. Формирование колоний микроорганизма, окисляющего марганец, в ризосфере картофеля.

а — непосредственно на корне ($\times 7$); *б* — в области корневых волосков ($\times 7$).

далось интенсивное развитие микроорганизма, отлагающего на своих структурах окислы марганца (рис. 3, *а, б*).

В культуре микроорганизм развивался только в присутствии гриба, являющегося одним из представителей класса *Fungi Imperfecti* (рис. 4, *а*). Смешанные колонии окисляющего марганец микроорганизма и гриба развивались в форме больших коричневых концентрических колец, причем гифы последнего всегда опережали зоны развития первого.

Данный микроорганизм обладает способностью отлагать окислы марганца на средах

с разным содержанием солей двухвалентного марганца (от 0,01 до 0,1%). При наличии в среде солей двухвалентного железа на структурах микроорганизма откладывается также окись железа. Микроорганизм растет при микроаэрофильных условиях, развивается при pH 6,5—8,0.

Полиморфный микроорганизм состоит из кокковидных и нитевидных элементов. На агаризованных средах преобладают нитевидные формы роста (рис. 4, *б, в*). В центре колонии окисляющего марганец микроорганизма находится крупное пятно, сплошь заполненное отложениями марганца. В стороны от этого пятна расходятся неправильно извитые нити, утончающиеся к периферии. Диаметр нити у основания варьирует в зависимости от возраста колонии и составляет в среднем 0,5 мкм. Молодые колонии микроорганизма имеют форму «паучка» (рис. 4, *в*). Стадия «паучка» довольно долго сохраняется в культуре, но постепенно промежутки между нитями заполняются окислами марганца, и микроколония превращается в бесформенную структуру.

На основании этих морфолого-физиологических признаков окисляющий марганец микроорганизм был идентифицирован как представитель рода *Metallogenium* Perf. [4, 7].

Для выяснения возможности развития этого микроорганизма в ризосфере других растений его культуру вносили в среду Уайта, в которой выращивали стерильные ростки картофеля, полученные из верхушечной

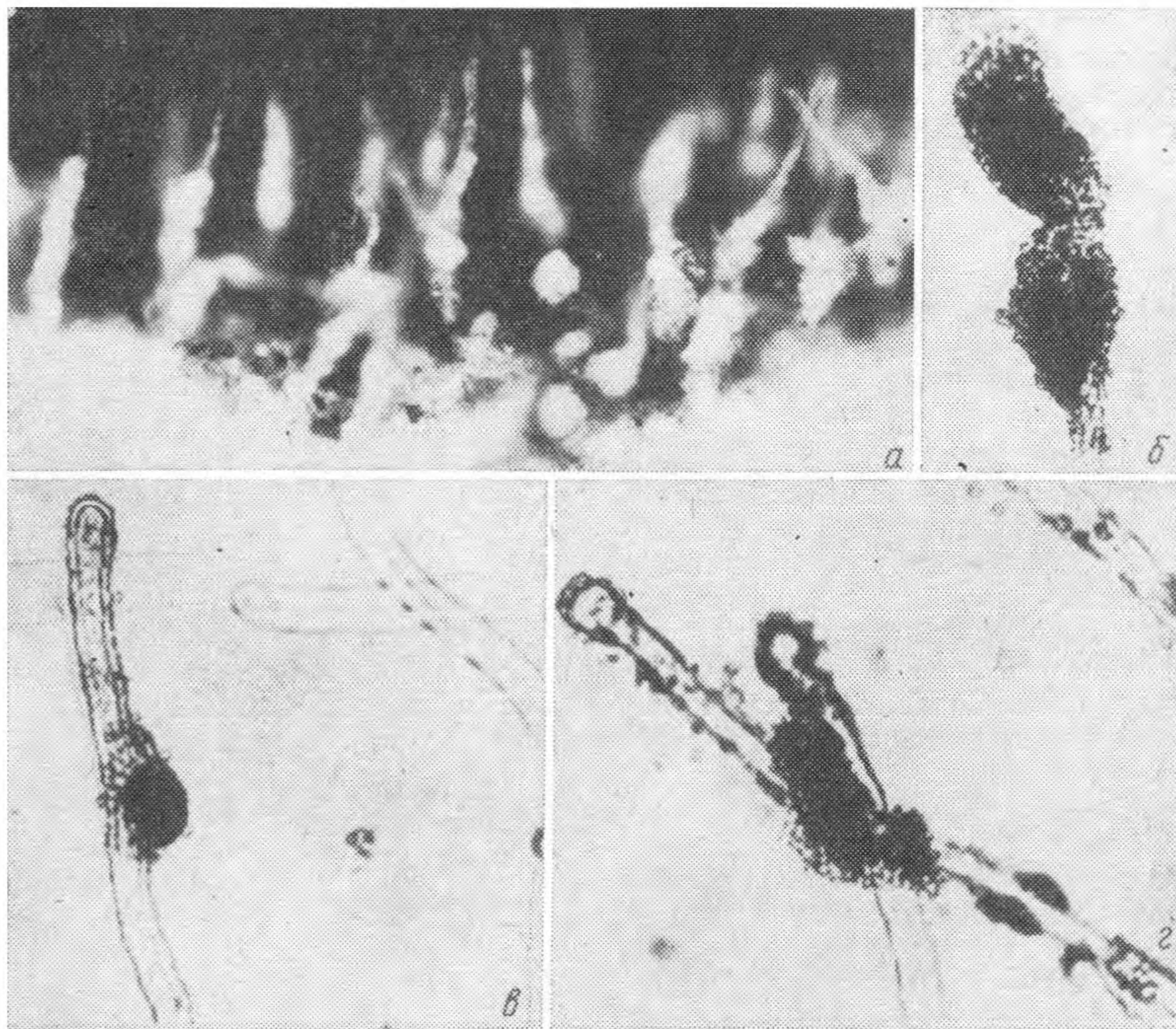


Рис. 6. Расположение микроорганизма, окисляющего марганец и железо, в зоне корневых волосков корней риса.

а — общий вид корневых волосков с отложениями марганца и железа ($\times 140$); *б, в, г* — локализация микроколоний микроорганизма, окисляющего марганец и железо, на корневых волосках ($\times 200$).

меристемы. Наблюдения показали, что микроколонию наиболее интенсивно образуются на корнях и участках корня, которые несут корневые волоски (рис. 5, а, б).

Окраска солянокислым бензидином корневой системы и стеблевой части растений, находящейся под водой, позволила выявить, что данный микроорганизм на затопленной части растений образует характерные микроколонию. Имеются микроколонию микроорганизма, окисляющего марганец и железа, и на поверхности корневой системы, в области корневых волосков и на самих корневых волосках (рис. 6).

В природных условиях железо-марганцевые бактерии развиваются в сложной экологической обстановке, для которой характерны подток восстановленных веществ из восстановительных горизонтов, достаточная степень аэробности среды и замаскированность зоны развития микроорганизмов отложениями окислов металла [1, 7]. Наличие в затопленных почвах высоких концентраций закисных форм железа и марганца, а также способность корней риса выделять в прикорневую зону кислород способствуют созданию благоприятных условий для развития железо-марганцевых бактерий непосредственно на корневой системе. Изучение расположения колоний железо-марганцевых бактерий на стеблях обрастания, помещенных в лугово-болотную почву, показало, что эти микроорганизмы развиваются только в верхнем (2—3 см) слое почвы.

В состав конкреций, формируемых представителями рода *Metallogenium*, входит также окисное железо [7]. Это можно объяснить тем, что при развитии данных микроорганизмов резко повышается окислительно-восстановительный потенциал среды, при котором возможны вторичные, чисто хими-

ческие процессы. По всей вероятности, железо окисляется в результате окислительно-восстановительной реакции с двуокисью марганца.

В литературе имеются сведения о выделении из железистых чехлов корневой риса железобактерий рода *Siderocapsa* Molisch [8].

Нам представляется несомненным участие и других, в настоящее время неидентифицированных железо-марганцевых микроорганизмов, играющих большую роль в формировании железо-марганцевых новообразований на корнях риса.

Так как различные виды железо-марганцевых микроорганизмов обладают разной способностью к аккумуляции окислов железа и марганца, надо полагать, что количественные соотношения между железом и марганцем в железо-марганцевых структурах на корнях риса зависят от видового состава участвующей в их формировании микрофлоры.

Заключение

Изучены железо-марганцевые новообразования на корнях риса. Среднее содержание железа и марганца в этих новообразованиях составляет соответственно 31,1 и 0,7%. В формировании последних принимает участие микроорганизм *Metallogenium* Perf., окисляющий марганец и железо.

Выявленная нами тесная связь между ризоконкрециями и корнями позволяет высказать предположение о наличии функциональных взаимоотношений между микроорганизмами, участвующими в формировании этих конкреций, и корнями риса.

Поверхность корня риса является одной из экологических ниш специфических микроорганизмов, окисляющих марганец и железо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристовская Т. В. Микробиология подзолистых почв. М. — Л., «Наука», 1965. — 2. Вирусные болезни и семеноводство картофеля. Киев, «Наукова думка», 1972. — 3. Волкова О. В., Елецкий Ю. К., Гродзинская К. П. Значение бактериального превращения элементов с переменной лентностью во взаимоотношения почвенных микроорганизмов и высших растений. — В сб.: Физиолого-биохимические основы взаимного влияния растений в фитоценозе. М., «Наука», с. 268. — 4. Заварзин Г. А. Симбиотическая культура нового окисляющего марганца микроорганизма. — Микробиология, 1961, т. 30, вып. 3, с. 393. — 5. Кларк Ф., Нирпасс Д., Шпехт А. Влияние добавления органического вещества и затопления на поглощение железа и марганца растениями риса. — Сельск. хоз-во за рубежом, 1958, вып. 6, с. 10. — 6. Мицуи С. Минеральное питание риса, удобрение и мелiorация орошаемых рисовых почв. М., ИЛ, 1960. — 7. Перфильев Б. В., Габбе Д. Р. Капиллярные методы изучения микроорганизмов. М., «Наука». — 8. Сидоренко О. Д. Некоторые особенности микрофлоры корневой зоны риса. — Изв.

ТСХА, 1977, вып. 5, с. 216. — 9. Столыпин Е. И. Агрохимическая характеристика почв районов рисосеяния и применение удобрений под рис. — Агрохимия, 1976, № 8, с. 136. — 10. Тен Хак Мун. Участие микроорганизмов в формировании марганцево-железистых конкреций в почвах бурой лесной зоны Дальнего Востока. — Докл. Акад. наук СССР, 1973, т. 209, № 5, с. 1203. — 11. Шапова Л. Н. Особенности микрофлоры почв рисовых полей Приморья. — В сб.: Микрофлора почв и водных бассейнов Сибири и Дальнего Востока. Томск. уни-т, 1976, с. 208. — 12. Bartlett R. J. — Soil Sci, 1961, vol. 92, p. 372. — 13. Bidwell O. W., Gier D. A., Cupra J. E. — 9th Intern. Congr. Soil. Sci. Trans., Adelaide, Australia, 1968, vol. 1, p. 683. — 14. Brever R. *Fabrie and Mineral Analysis of Soils*. John Wiley and Sons. Inc. N.-Y., 1964. — 15. Cannon W. A. *Plant Physiol.*, Lancaster, 1932, vol. 7, p. 673. — 16. Cogonnel R. E., Wallihan E. F. — *Kalikasan*, 1973, vol. 2, N 2, p. 96. — 17. Kindle E. M. — *Bull. geol. Soc. Am.*, 1923, vol. 34, p. 609. — 18. Mulder E. G., W. L. van Veen. 9th Intern. Congr. Soil. Sci.

Trans., Adelaide, Australia, 1968, vol. 1, p. 651.—19. Poussean J.—J. sedium. Petrol., 1934, vol. 4, p. 60.—20. Russel E. M.—Soil condition and plant growth. 8th. ed., London, 1950.—21. Wil-

liams V. R.—Volume 6 of the Complete works of williams. Soil Science and Agriculture on it's basis. Moscow, 1951.—22. Winters E.—Soil Sci., 1936, vol. 46, p. 33.

Статья поступила 27 апреля 1978 г.

SUMMARY

The ability of specific microorganisms which can oxidize manganese to participate in deposition of manganese and iron oxides on the roots of rice was studied. It has been shown that in developing new iron-manganese formations the microorganism *Metallogenium* Perf oxidizing manganese and iron takes part.

It is supposed that there exist some functional interrelations between microorganisms, which participate in developing new formations of iron and manganese, and rice roots.

The surface of rice root is one of ecological niches which are specific for microorganisms oxidizing manganese and iron.