

Сведения о выполненных работах в 2023 году  
по проекту «Криптическая сульфатредукция в природных и  
техногенных биотопах»,  
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-14-00114

Руководитель: Карначук Ольга Викторовна, д-р биол. наук

Проект посвящен изучению криптической микробной сульфатредукции в нетрадиционных местообитаниях, где накопление сероводорода может быть скрыто другими биогеохимическими реакциями. Изучение сульфатредукции было запланировано в трех типах биотопов: (1) горящих отходах угольных шахт; (2) низкосульфатных подземных водах и (3) высоко-окисленных отходах добычи металлов.

В 2023 году проведен дополнительный отбор проб, определены физико-химические характеристики и измерены скорости сульфатредукции в условиях *in situ* в термальных глубинных подземных горизонтах: (1) радоновом источнике на месторождении «Чистоводное» (Приморский край); (2) термальных водоносных горизонтах Западносибирского артезианского бассейна, вскрываемых глубинной скважиной в поселке Тегульдэт (Томская область).

Скорость сульфатредукции, измеренная в экспериментах с радиоактивным сульфатом в воде на месторождении «Чистоводное» и поселке «Тегульдэт», составляла величины одного порядка со скоростями, измеренными в рамках проекта в 2021 и 2022 годах в глубинных подземных горизонтах, вскрываемых скважинами в Тюменской области и поселке Белокуриха. Максимальная скорость, зафиксированная в осадках наземной гидротермы на месторождении «Чистоводное» составляла  $0.766 \pm 0.53$  нмоль S см<sup>-3</sup> сутки<sup>-1</sup>. Скорость в воде глубинной скважины в поселке Тегульдэт составляла  $10.8 \pm 6.61$  нмоль S см<sup>-3</sup> сутки<sup>-1</sup>. Хотя температура воды на устье скважине в Тегульдете не превышала +21.1 °С, максимальная активность процесса обнаружена при 70 °С, что подтверждает происхождение воды из глубинных термальных горизонтов. Аналогичную ситуацию наблюдали в наземных гидротермах Кучигер и Умхэй в Баргузинской долине республики Бурятия. Проведенные в 2023 году эксперименты показали, что скорость в термальных инкубациях (60 °С) в источнике Кучигер значительно превышала таковую при умеренной температуре (20 °С), что свидетельствует о преобладании термофильного сообщества. Однако скорость в Бурятских пробах была значительно выше и достигала 397 нмоль S см<sup>-3</sup> сутки<sup>-1</sup>. Высокие скорости процесса связаны с более высокими концентрациями сульфата, происходящего из осадочных вмещающих пород. Несмотря на высокие скорости процессов, сообщество сульфатредуцирующих бактерий в воде Кучигер и Умхэй, обнаруженное профилированием по гену 16S рПНК, оказалось немногочисленным и принадлежало к филумам Desulfobacterota и Nitrospirota. Результаты опубликованы в статье «Малочисленное сообщество

сульфидогенных бактерий осуществляет интенсивный процесс восстановления сульфатов в наземных гидротермах Баргузинской долины» в журнале «Микробиология».

Лимитирование скорости сульфатредукции концентрацией  $SO_4^{2-}$  было продемонстрировано в экспериментах с пробами, отобранными из глубинных скважин в Тюменской области с низкосульфатной водой. Одновременно мы показали, что внесение малорастворимого осадка сульфата бария и в меньшей степени сульфата стронция, увеличивает интенсивность процесса, что подтверждает гипотезу о возможном использовании этих соединений в качестве акцепторов электронов для сульфатного дыхания из вмещающих пород в низкосульфатных водоносных горизонтах.

В 2023 году завершены дополнительные эксперименты по определению скорости сульфатредукции в термальных породах и почвах отходов добычи угля на месторождении Чаган-Узун и эксперименты со спорами *Desulfofundulus*, прорастающими в персистирующие вегетативные клетки при низких температурах. В результате продемонстрирован бимодальный процесс сульфатредукции, осуществляемый вегетативными клетками термофильного *Desulfofundulus* при повышенных температурах 60-70 °С и клетками, образующимися из спор при температурах 15-20 °С, осуществляющих сульфатредукцию, но неспособных к делению. Результаты исследования опубликованы в статье «The low-temperature germinating spores of the thermophilic *Desulfofundulus* contribute to an extremely high sulfate reduction in burning coal seams» в журнале *Frontiers in Microbiology*.

Противоположная ситуация была обнаружена при измерении скорости сульфатредукции в отходах добычи вольфрама на месторождении Бом-Горхон в республике Бурятия. Было обнаружено восстановление радиоактивного сульфата при температуре 60 °С, которое превышало скорости при *in situ* температуре 20 °С. Были определены физиологические характеристики штамма *Desulfosporosinus* BG, выделенного ранее из проб хвостохранилища на месторождении Бом-Горхон.

В 2023 году результаты исследования представлены на 4-м Российском микробиологическом конгрессе, 24-29 сентября 2023, г. Томск. Сообщение на тему «Новые культивируемые *Limnochorda* из глубинных подземных водоносных горизонтов проливают свет на физиологию и экологию класса» представлен в виде устного доклада. Сообщение «*Desulfosporosinus cupriresistens* sp. nov. участвуют в активном восстановлении сульфатов в окисленных осадках хвостохранилища добычи вольфрама» в виде постерного доклада. Сообщение на тему «Активность микробной сульфатредукции в пробах глубинных подземных горизонтов, содержащих представителей семейства 'Desulfurudaceae'» представлено в виде приглашенного пленарного доклада на Всероссийской научной школе-конференции молодых ученых и студентов «Генетические технологии в исследовании природных соединений», 3-7 октября, 2023, г. Владивосток.