

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 550.47:550.72:579

Влияние микроорганизмов на минеральный состав и свойства грунтов

Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик

Естественнаучный институт Пермского государственного национально-го исследовательского университета. 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4

E-mail: nmax54@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 5 июня 2012 г.)

Микроорганизмы широко распространены в грунтах разного генезиса. В процессе своей жизнедеятельности они используют многие химические элементы и выполняют те или иные геохимические функции. В статье рассматриваются изменения твердой, жидкой и газовой фаз грунтов под действием микроорганизмов. Сделан вывод о необходимости микробиологического исследования грунтов при проведении проектно-изыскательских работ. Представлен обзор имеющихся в научной литературе данных, а также приведены результаты собственных исследований авторов.

Ключевые слова: *микроорганизмы, геологическая деятельность микроорганизмов, трансформация минералов грунтов.*

Введение

Микроорганизмы - это самые массовые обитатели нашей планеты, их общая биомасса больше биомассы всех других живых существ, вместе взятых [35, 47]. Чрезвычайная лабильность метаболизма бактерий позволяет им жить практически повсеместно, в любых земных условиях. Благодаря широкому диапазону условий существования и разнообразию типов обмена микроорганизмы заселяют почти все элементы геологической среды, среди которых с точки зрения микробиологии наиболее изучены почвы [7, 11, 17]. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы используют различные химические элементы (Na, K, Ca, Mg, Fe, P, C, N, S и многие другие) и обладают почти универсальной способностью выполнять те или иные геохимические функции.

Продуктами жизнедеятельности микроорганизмов являются их биомасса, различные окислы, легко возвращающиеся в геохимические циклы, и газы. Исключительную роль микроорганизмов в биогеохимических процессах отмечали В.И. Вернадский [6], С.Н. Виноградский [7], Б.Л. Исаченко [12] и другие отечественные исследователи [14]. При решении ряда инженерно-геологических проблем важно изучение живого компонента грунтов - микроорганизмов. С одной стороны, инженерно-геологическая деятельность нарушает условия хода в геологической среде многих природных процессов, в том числе и микробных. При этом нередко наблюдается усиление некоторых нежелательных микробиологических процессов по сравнению со скоростью их протекания в естественных условиях. С другой стороны, именно микроорганизмы могут

способствовать поддержанию желаемых параметров окружающей среды [13].

Распространенность микроорганизмов в грунтах

Микроорганизмы широко распространены в грунтах разного генезиса. Численность микробов в подпочвенных слоях в пересчете на 1 г субстрата находится в пределах 10^5 - 10^7 клеток, и это меньше, чем в почвенном слое, примерно на 1-3 порядка [20, 21, 44]. Соотношение может сильно меняться в зависимости от изменения условий обитания микроорганизмов. В общем случае характерно снижение численности микробов в подпочвенных толщах с глубиной [34, 48]. Анализ численности микроорганизмов в различных грунтах выявил зависимость количества микробов от типа отложений и их химического состава. Суммарное количество биотической составляющей в различных грунтах меняется в очень широких пределах, однако, установлена прямая зависимость общей численности микроорганизмов от содержания органического вещества [32, 37]. Живые организмы могут находиться в грунте на поверхности твердой минеральной части, в поровом растворе, в порах, трещинах, кавернах и пустотах. Отсюда следует, например, что общая биомасса организмов в грунтах потенциально зависит от их пористости (пустотности): чем меньше пористость, тем меньше биомасса. Например, в скальных грунтах с пористостью в десятые и сотые доли процента биомасса организмов не может быть значительной, а рыхлые, пористые грунты способны иметь значительную биомассу живой составляющей [35, 49]. С другой стороны, Паркес и соавторы (2000) считают, что пористость пород не является фактором, лимитирующим распространение микроорганизмов в грунтах и породах, т. к. микроорганизмы занимают всего лишь 0,0002% от общего пространства пор и, следовательно, не ограничены пространством [46]. В дисперсных грунтах и даже отчас-

ти в природных водах подавляющее количество микроорганизмов адсорбировано на поверхности твердой фазы. Адсорбция микробных клеток на твердых частицах экологически целесообразна, т. к. большинство источников питания находится в природе в нерастворимом состоянии и прямой контакт клеток с твердым питательным субстратом облегчает использование последнего [11,38].

Влияние микроорганизмов на свойства грунтов

Особенности физиологии микроорганизмов, их воздействие на минералы, органические вещества, газы и проч., а также широкое распространение в грунтах дают все основания ожидать, что они окажут значительное влияние и на свойства самих грунтов: их минеральный состав, структуру, дисперсность и напряженное состояние.

Изменение твердой фазы грунтов

Все микроорганизмы воздействуют на твердый компонент грунта, используя для своего питания содержащиеся в нем минеральные элементы. Микроорганизмы способны разрушать важнейшие минеральные компоненты горных пород, такие как силикаты, алюмосиликаты и доломиты [29]. В первую очередь микробиологическому воздействию подвержены изоморфно замещенные, обменные или случайно примешанные ионы [1, 19]. В глинистых минералах первыми и быстрее всего переводятся в раствор катионы междуслоевого пространства, затем изоморфно замещенные ионы и ионы, занимающие периферическую зону частиц. Слабее всего мобилизуются ионы, занимающие октаэдрические и тетраэдрические фрагменты структуры минерала [24]. При действии гетеротрофных микроорганизмов на алюмосиликаты сначала приобретают подвижность щелочные элементы, затем щелочно-земельные, последними - кремний и алюминий. Вынос эле-

ментов из минералов в присутствии микроорганизмов в два-три раза выше, чем под действием воды или «мертвого» органического вещества. Особенности выноса элементов определяются прочностью связей атомов в структуре кристаллической решетки, типом микроорганизма и условиями разложения [42]. Более активное воздействие на грунт обусловлено способностью микробов окислять и восстанавливать элементы с переменной валентностью, входящие в состав кристаллической решетки минералов; влиянием метаболитов (H_2SO_4 , HNO_3 , органических кислот, слизей, щелочей, сероводорода и др.). Минерал при этом может быть полностью разрушен или (при избирательном выносе элементов) трансформирован в другой. Трансформация одних минералов в другие происходит при избирательном выносе отдельных элементов из кристаллической решетки или при окислении и восстановлении элементов, входящих в её состав. Примерами трансформаций могут служить процессы вермикулитизации биотита, трансформации пирита в минералы типа натроязита, антимонита в сенармонтит и др. В анаэробных условиях при участии сульфатредуцирующих бактерий наблюдается обратный процесс: пиритизация таких сульфатных минералов, как ярозит, натроярозит, алунит и др. [5, 9, 25]. Лабораторные эксперименты с тремя разновидностями нонтронита и последующее компьютерное моделирование показали, что восстановлению подвергаются ионы железа, преимущественно находящиеся в октаэдрических решетках минерала, а окислению - ионы железа, преимущественно находящиеся в тетраэдрических решетках [33, 45]. Почти полное замещение первичной ангидритовой породы вторичным кальцитом и серой может происходить в результате активной сульфатредукции и развития тионовых бактерий. В глинистых грунтах в восстановительных условиях наблюдается образование кальцита одновременно с уменьшением содержания гипса и формированием сульфидных минералов, обусловли-

вающих темную окраску грунта в присутствии микроорганизмов и органических веществ. Полное микробное разрушение установлено для нефелина, биотита, карбонатов [5]. Растворение карбонатных минералов органическими кислотами и другими продуктами микробного происхождения может привести к образованию карста [9, 16]. Микробиологическое новообразование минералов показано на ряде карбонатных, сульфидных, бокситовых, железистых (гетит, гематит) отложений, имеющих в некоторых случаях масштабы месторождений [2, 31]. Образование карбонатов осуществляется при участии многих микроорганизмов и обусловлено взаимодействием выделяемой в процессе дыхания и брожения углекислоты с имеющимися в среде катионами. При избытке серы накопление карбонатов в форме кальцита, арагонита или апатита происходит в результате сульфатредукции. При окислении микроорганизмами марганца образуется пиролюзит или близкие ему минералы. Микроорганизмы способны накапливать также окислы алюминия, с чем может быть связано образование латеритных бокситов. Концентрация алюминия как остаточного продукта также происходит в результате разложения алюмосиликатов микроорганизмами и выноса всех более растворимых элементов [29].

Микроорганизмы оказывают влияние на электроповерхностные свойства частиц, изменяя заряды частиц дисперсных пород при адсорбции на них отрицательно заряженных клеток или продуктов метаболизма, функциональные группы которых могут иметь как положительный, так и отрицательный заряды. Развитие микробной компоненты в грунтах увеличивает содержание тонкодисперсной фракции, способствует формированию тонкой пористости, снижению проницаемости и водоотдачи песчаных грунтов. Сорбция бактериальных клеток и продуктов метаболизма на глинистых частицах приводит к формированию биопленок, что значительно ослабляет интенсивность молеку-

лярного взаимодействия между частицами, приводит к снижению прочности и показателей деформационных свойств [10]. В присутствии гумусовых веществ микроорганизмы восстанавливают такие устойчивые соединения Fe^{3+} , которые они не могут восстановить в отсутствие гумуса, например кристаллические оксиды железа (гетит и гематит) или структурное железо (III) в глинистых минералах [40]. Микроорганизмы могут играть роль как в цементации, так и в разуплотнении пород [5, 18, 26, 28, 30, 36, 41, 50].

В ряде случаев под действием живого компонента изменяются пористость и водопроницаемость пород благодаря заполнению пор клеточной биомассой или нерастворимыми продуктами обмена (карбонатами, окислами), образовавшимися при трансформации твердого компонента. Таким путем происходят микробиологическая закупорка пластов при закачке воды в нефтяные скважины [8, 39], уменьшение выхода воды из скважин [27]. Увеличение пористости до 15% отмечено при микробиологическом выветривании ангидритовой породы [22]. Накопление микроорганизмами железа и марганца в сильномагнитной форме сказывается на магнитных свойствах грунта [43].

Существуют данные об изменении таких свойств грунтов, как прочность на сдвиг, липкость, пластичность. Уменьшение прочности при развитии микроорганизмов в восстановительных условиях может быть связано с разрушением гидроокисного и органического цементов с образованием поверхностно-активных веществ (ПАВ). Появление последних в грунтах после развития микроорганизмов подтверждалось данными анализов. Снижение липкости также может быть связано с действием ПАВ. В окислительных условиях, наоборот, под влиянием железобактерий соединения Fe^{3+} и Mn^{2+} превращаются в гелеобразные окислы, обладающие клеящими свойствами, вследствие чего прочность грунтов несколько увеличивается. Пластичность образцов в окислительных условиях снижалась, что

отражало агрегацию частиц в результате развития железобактерий, в восстановительных условиях пластичность увеличивалась [5].

Изменение газовой фазы грунтов

Трансформации твердого компонента обычно сопряжены с потреблением или выделением газов и, таким образом, с изменением газового состава грунта. Разложение органических веществ, бикарбонатов, сульфатов в зависимости от условий, в которых оно происходит, ведет к выделению CO_2 , N_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , летучих органических веществ и др. За интенсивное газообразование при разложении органики в грунтах ответственны все гетеротрофные микроорганизмы. Газонасыщенность среды может возрасти в результате метаногенеза или восстановления нитрит- и нитрат-ионов. Потребление газов наблюдается при нитрификации (NH_3), азотфиксации (N_2), окислении H_2 , CH_4 , CO , H_2S , SO_2 , автотрофной ассимиляции углекислоты.

Установлено, что микроорганизмы в закрытой системе грунта могут увеличивать поровое давление и придавать ему плавунные свойства [23]. Защемленные в порах мельчайшие пузырьки образующихся в процессе метаболизма бактерий газов с высокой величиной поверхностного натяжения и большим внутренним давлением способствуют значительному разуплотнению глинистых пород. В таких условиях существенно возрастает тиксотропность песчано-глинистых пород. В результате метаболизма бактерий водонасыщенные пески, не обладающие плавунными свойствами, в течение короткого времени могут становиться истинными плавунками. Плавун может возникнуть в грунтах, где имеются или куда поступают извне питательные вещества для микроорганизмов и условия обмена с окружающей средой благоприятны не только для развития микроорганизмов в течение длительного времени, но и для накопления продуктов их жизнедеятельности. Данный

факт получает многочисленные подтверждения при изучении трансформации песков в процессе их загрязнения [10].

Изменение жидкой фазы грунтов

Изменения твердого и газового компонентов отражаются и на особенностях жидкого компонента, влияя на его состав, ионную силу растворов, рН, окислительно-восстановительный потенциал и др.

К закислению среды ведут накопление в ней продуктов неполного разложения водорастворенного органического вещества (летучих жирных кислот), процессы брожения и восстановления ионов железа (III). Значительные изменения рН поровых вод могут вызвать также тионовые и нитрифицирующие бактерии, подкисляющие среду. Зашелачивание среды может происходить в результате процессов метаногенеза и восстановления нитрит-, нитрат- и сульфат-ионов. Установлено важное значение микроорганизмов в образовании щелочей, например соды, в результате процессов сульфатредукции, денитрификации или разложения органических веществ. Щелочные условия среды способны вызывать абиогенные преобразования алюмосиликатных минералов.

Изменение окислительно-восстановительных условий среды будет происходить по мере исчерпания микроорганизмами веществ, используемых ими в качестве конечных акцепторов электронов для окисления органических веществ. Кроме того, выделение микроорганизмами продуктов метаболизма, поглощение из минералов и жидкой фазы различных элементов, изменения минералов, состава обменных катионов, жидкой и газовой фаз, ионной силы растворов также вызывают изменения окислительно-восстановительных условий [29].

Заключение

Обнаруживаемые в грунтах микроорганизмы могут функционировать на всех этапах формирования грунтов и их изме-

нения. При стабильном состоянии грунтов микроорганизмы способны нивелировать колебания газового состава, состава поровых вод и твердого компонента, возникающие при изменениях атмосферного давления и движении газов из мантии к поверхности, при подтоке подземных вод и нисходящем движении атмосферных вод. Значение микробиологической деятельности может существенно возрасти при нарушении стабильного состояния грунта, а также при техногенном воздействии [3, 4, 16]. Таким образом, биотические свойства грунтов имеют весьма существенное значение в инженерно-геологических исследованиях. Для того чтобы применить адекватные меры защиты сооружений, необходимо при проведении проектно-изыскательских работ проводить исследования грунтов на их микробиологическое заражение. При этом важно не только установить присутствие в грунтах различных физиологических групп микроорганизмов, но и дать оценку степени их агрессивности.

В существующих нормативных документах отсутствует оценка степени агрессивности микробиоты грунтов по отношению к строительным материалам. Сложность таких оценок обусловлена тем, что агрессивность микробиоты подземного пространства зависит не только от количества и видового состава биодеструкторов, но и от температуры, влажности, аэрации, наличия или отсутствия в грунте органических веществ, антропогенных факторов и т.д. Большое разнообразие микроорганизмов в грунте, их способность адаптироваться к меняющимся условиям среды делают количественную оценку микробиоты, с точки зрения опасности для материалов, практически неразрешимой задачей. Но для принятия технических решений по защите инженерных сооружений от агрессивного воздействия микрофлоры грунтов и подземных вод такая оценка необходима.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 p_урал_a

«Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для за-

щиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

Библиографический список

1. *Алексеева Т.В., Сапова Е.В., Герасименко Л.М., Алексеев А.О.* Преобразование глинистых минералов под воздействием алкалофильного цианобактериального сообщества // *Микробиология*. 2009. Т. 78, №6. С. 816-825.
2. *Болотина НН.* Физико-химические явления с участием биотического компонента // *Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы*. М.: Недра, 1985. С. 65-70.
3. *Болотина И.Н., Воронкевич С.Д., Максимович Н.Г.* О возможности техногенных биогеохимических явлений при силикатизации гипсоносных пород // *Вестн. Моск. ун-та. Сер.4. Геология*. №4. С. 49-53. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0058.html.
4. *Болотина МН., Максимович Н.Г.* Изучение роли микроорганизмов подземных вод при химическом уплотнении гипсоносных пород основания плотины // *Тез. докл. науч.-практ. конф. «Координация исследований на водохранилищах Камского каскада для разработки мероприятий по улучшению экологических условий в водоемах и на прилегающих территориях»*. Пермь, 1984. С. 44-45. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0042.html.
5. *Болотина И.Н., Сергеев Е.М.* Микробиологические исследования в инженерной геологии // *Инженерная геология*. 1987. № 5. С. 3-17.
6. *Вернадский В. И.* Проблемы биогеохимии. // *Тр. биогеохимической лаборатории*. М.: Наука, 1980. Т. 16. 320 с.
7. *Виноградский С.Н.* Микробиология почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с.
8. *Гольденберг А.М., Квасников Е.И.* Принципы использования микроорганизмов для ограничения притока вод в нефтяные скважины // *Тез. докл. Всесоюз. конф. «Экологическая и геохимическая деятельность микроорганизмов»*. Пушкино-на-Оке: Изд-во ИБФМ АН СССР, 1974. С. 46.
9. *Горбунова К.А., Молоштанова Н.Е., Максимович Н.Г., Яцина И. И.* Геохимические измененные породы и вторичные минеральные образования Кунгурской пещеры // *Кунгурская ледяная пещера*. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1995. С. 26-58. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0159.pdf.
10. *Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В.* Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // *Развитие городов и геотехническое строительство*. 2011. № 13. С. 25-71.
11. *Звягинцев Д.Г.* Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. М.: Изд-во МГУ, 1973. 176 с.
12. *Исаченко Б.Л.* Избранные труды. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 431 с.
13. *Кофф Г.Л., Кожевина Л. С.* Роль микроорганизмов в изменении геологической среды // *Инженерная геология*. 1981. № 6. С. 63-74.
14. *Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н.* Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 239 с.
15. *Максимович Н.Г., Бельтюкова Н.В.* Вторичные минералы карбонатных карстовых пещер // *Пещеры*. 1981. № 18. С. 59-70. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0029.html.
16. *Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Казакевич С. В.* Исследование возможности повышения агрессивности подземных вод при строительстве на пиритсодержащих глинистых грунтах // *Матер. Междунар. симпозиума «Инженерно- геологические проблемы урбанизированных территорий»*. Екатеринбург: Аква - Пресс, 2001. Т.2. С. 545-551. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0241.html.
17. *Мишустин Е.Н.* Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 107 с.
18. *Моавад Х., Бабьева И.П., Горин С.Е.* Агрегация почв под действием внеклеточного полисахарида *Lypomyces lipofer* // *Почвоведение*. 1976. № 9. С. 65-68.
19. *Молоштанова Н.Е., Максимович Н.Г., Шлыков В.Г.* Трансформация минералов глин в отложениях Кунгурской пещеры // *Вестн. Перм. ун-та*. 1999. Вып.3. Геоло-

- гия. С. 232-237. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0202.html.
20. *Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т.* Роль подземной микробиоты в потоках углерода в верхней части литосферы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 9-10. С. 34-36.
 21. *Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С.* Концепция организованности подземной биосферы / УрО РАН. Екатеринбург, 2004. 148 с.
 22. *Померанец Л.Б., Ельницкая Г.А.* Роль микроорганизмов во вторичных изменениях пород Гаудаковского месторождения // Микробиология. 1969. Т. 38, № 1. С. 25-30.
 23. *Радина В.В.* Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния // Гидротехническое строительство. 1973. № 9. С. 22-24.
 24. *Цурюна ИГ.* Роль микроорганизмов в выветривании алюмосиликатов и образовании подвижных, легкомигрирующих соединений // Кора выветривания. 1973. Вып. 13. С. 3-38.
 25. *Чухров Ф.В., Ляликова Н.Н., Горшков А.И.* О роли микроорганизмов в образовании ярозитов // Докл. АН СССР. 1978. Т.241, № 4. С.929-932.
 26. *Abd-el-Malek Y, RizkS.G.* Bacterial sulphate reduction and the development of alkalinity. III. Experiments under natural conditions in the Wadi Natrun // J. Appl. Bacteriol. 1963. Vol. 26. P. 20-26.
 27. *Barbie F.F., Bracilovid D.M., Djindjid M. V, Djorelijevski S.M., Zivkovid J.S., Krajincanic B. V.* Iron and manganese bacteria in Ranney wells // Water Res. 1974. Vol. 8, № 11. P. 895-898.
 28. *DeJong J.T., Fritzes M.B., Ntisslein K* Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2006. Vol. 12. P. 1381-1392.
 29. *Ehrlich H.L.* Geomicrobiology. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 719 p.
 30. *Etemadi O., Petrisor I.G., Kim D., Wan M.-W, Yen T.F.* Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: laboratory drainage flow studies // Soil and Sediment Contamination. 2003. Vol. 12. P. 647-661.
 31. *Fortin D., Langley S.* Formation and occurrence of biogenic iron-rich minerals // Earth-Science Reviews. 2005. Vol. 72, № 1-2. P. 1-19.
 32. *Fredrickson J.K., Garland T.R., Hicks R.J., Thomas J.M., Li S. W, McFadden KM.* Lithotrophic and heterotrophic bacteria in deep subsurface sediments and their relation to sediment properties // Geomicrobiol. J. 1989. Vol. 7, № 1/2. P. 53-66.
 33. *Geatches D.L., Clark S.J., Greenwell H.C.* Iron reduction in nontronite-type clay minerals: Modelling a complex system // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. Vol. 81. P. 13-27.
 34. *Ghiorse W.C., Wilson J.T.* Microbial ecology of the terrestrial subsurface // Advances Applied Microbiology. 1988. Vol. 33. P. 107—172.
 35. *Gold T.* The deep, hot biosphere // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1992. Vol. 89. P. 6045 - 6049.
 36. *Hendry J.P.* Calcite cementation during bacterial manganese, iron and sulphate reduction in Jurassic shallow marine carbonates // Sedimentology. 1993. Vol. 40. P. 87-106.
 37. *Kaiser J.-P., Bollag J.-M.* Microbial activity in the terrestrial subsurface // Experientia. 1990. Vol. 46. P. 797-806.
 38. *Lehman R.M., Colwell F.S., Bala G.A.* Attached and unattached microbial communities in a simulated basalt aquifer under fracture* and porous-flow conditions // Applied and Environmental Microbiology. 2001. Vol. 67. № 6. P. 2799-2809.
 39. *Li Y, Yang I.C.-Y., Lee K-L, Yen T.F.* Subsurface application of *Alcaligenes eutrophus* for plugging of porous media // Microbial Enhanced Oil Recovery - Recent Advances. Amsterdam: Elsevier, 1993. P. 65-77.
 40. *Lovley D.R., Fraga J.L., Blunt-Harris E.L., Hayes L.A., Phillips E.J.P., Coates J.D.* Humic substances as a mediator for microbially catalysed metal reduction // Acta Hydrochimica et Hydrobiologica. 1998. Vol. 26. № 3. P. 152-157.
 41. *Martin G.R., Yen T.F., Karimi S.* Application of biopolymer technology in silty soil matrices to form impervious barriers // Proceedings of 7th Australia - New Zeland conference on geomechanics. Adelaide: International Association on Engineering Geology and International Society for Rock Mechanics, 1996. P. 814-819.
 42. *Maurice P.A., Vierkorn M.A., Hersman L.E., Fulghum J.E.* Dissolution of well and poorly ordered kaolinites by an aerobic bacterium //

- Chemical Geology. 2001. Vol. 180. № 1-4. P. 81-97.
43. **Moench T.T., Konetzka W.A.** A novel method for the isolation and study of magnetotactic bacterium // Arch. Mikrobiol. 1978. № 119. P. 203-212.
44. **Oborin A.A., Rubinstein L.M., Khmurchik V.T.** On the Concept for the Organization of the Modern Biosphere in the Terrestrial Subsurface. // Biosphere Origin and Evolution. New York: Springer, 2007. P. 199-205.
45. **O'Reilly E.S., Watkins J., Furukawa Y.** Secondary mineral formation associated with respiration of nontronite, NAu-1 by iron reducing bacteria // Geochemical Transactions. 2005. Vol. 6. №4. P. 67-76.
46. **Parkes J.R., Cragg B.A., Wellsbury P.** Recent studies on bacterial populations and processes in seafloor sediments: a review // Hydrogeology Journal. 2000. Vol. 8. P. 11-28.
47. **Pedersen K.** Exploration of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives // Microbiological Letters. 2000. Vol. 185. P. 9-16.
48. **Sinclair J.L., Ghiorse W.C.** Distribution of aerobic bacteria, protozoa, algae, and fungi in deep subsurface sediments // Geomicrobiol. J. 1989. Vol. 7, № 1/2. P. 15-31.
49. **Teske A.P.** The deep subsurface biosphere is alive and well // Trends in Microbiology. 2005. Vol. 13, № 9. P. 402-404.
50. **Yang I.C.-Y., Li Y, Park J.K., Yen T.F.** The use of slime-forming bacteria to enhance the strength of the soil matrix // Microbial Enhanced Oil Recovery - Recent Advances. Amsterdam: Elsevier, 1993. P. 89-96.

The Influence of Microorganisms on Mineral Content and Properties of Grounds

N.G. Maksimovich, V.T. Khmurchik

Natural Science Institute of Perm State National Researching University, 614990, Perm, Gengkel st., 4. E-mail: nmax54@gmail.com

Microorganisms are widely distributed organisms in grounds of various geneses. They use many of chemical elements during their vital activity, and so, accomplish distinct geochemical functions in geosphere. Microbiological transformations of solid, liquid, and gaseous phases of grounds are observed in the article. The necessity of microbiological investigations of grounds during geological surveys is proved.

This article reviews the data of other researchers, moreover, the results of the authors' investigations are presented in it too.

Key words: *microorganisms, geological activity of microorganisms, transformation of grounds ' minerals.*

Рецензент - доктор геолого-минералогических наук В.В. Середин