

БИОЛОГИЯ

Почвоведение. Ботаника. Зоология.

УДК 631.46

DOI 10.18101/2587-7143-2019-1-3-12

МИКРОБИОТА И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Е. В. Напрасникова, А. П. Макарова, И. А. Белозерцева

© **Напрасникова Елизавета Викторовна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

E-mail: napev@irigs.irk.ru

© **Макарова Альбина Павловна**

кандидат биологических наук, доцент

Иркутский государственный университет

664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1

E-mail: nadin_buk@mail.ru

© **Белозерцева Ирина Александровна**

кандидат географических наук, зав. лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Иркутский государственный университет 664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1

E-mail: belozia@irigs.irk.ru

Для цитирования:

Напрасникова Е. В., Макарова А. П., Белозерцева И. А. Микробиота и биохимические свойства почв северного побережья озера Байкал // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2019. № 1. С. 3–12.

Получены новые экспериментальные данные изучения почв Северного побережья оз. Байкал. В рамках работы приведено подробное описание почв, характерных для изучаемой территории. Определены показатели щелочно-кислотных условий. Степень биологической активности изучаемых почв, позволила отнести их к средне- и слабоактивным. Установлена заметная (по шкале Чеддока), связь данной активности с щелочно-кислотными условиями ($R^2 = 0,7$). Детально рассмотрены количественно-качественные особенности микробиоценозов почв. Численность гетеротрофных эубактерий колеблется в широких пределах в зависимости от типа почвы (от 0,27 до 8,2 млн. КОЕ/г). В качественном отношении очень разнообразен грибной компонент. Выявлено неблагоприятное санитарно-микробиологическое состояние почв на побережье озера вблизи населенных пунктов, гаражей и садоводств, а также в рекреационной зоне.

Ключевые слова: Северное побережье Байкала, почвы, микробиота, биологическая активность.

Введение

Состояние почвенного покрова изучаемой территории определяется как влиянием природных факторов, подчиняющихся региональным и локальным закономерностям, так и многообразием видов антропогенного воздействия.

Изучение качества окружающей среды по микробиологическим и биохимическим показателям признано экологически ориентированным научным подходом, особенно если речь идет о сохранности компонентов биосферы, как среды обитания человека.

Исходя из актуальности обозначенной темы, основная цель исследований заключалась в изучении экологического состояния почвенного покрова, ранее в этом отношении не изучавшегося.

Основные задачи экспериментальной работы сводились к следующему: описание почв и отбор образцов, определение щелочно-кислотных условий, изучение микробных сообществ, оценка санитарно-экологических свойств и биохимического статуса почвенного покрова Северного побережья оз. Байкал.

Объекты и методы исследования. Объектом детальных исследований явились наиболее распространенные почвы территории Северного Прибайкалья.

Главными факторами, определяющими пространственную организацию почвенного покрова в регионе, являются рельеф и климат. Указанные факторы и ландшафтные связи имеют отчетливую специфику в горной и равнинной частях бассейна. На особенности климата оказывает влияние акватория озера Байкал, что определяет, специфику почвенного и растительного покрова (Белов и др., 1993).

Климат определяется положением территории в рельефе, особенностями горного обрамления и воздействием Байкала. Водные массы обширного мелководья Северной оконечности озера интенсивно прогреваются уже в конце июня. Температура воздуха здесь достаточно высокая для севера котловины и близка к таковой побережья Южного Байкала (Трофимова, 2002). Средняя температура января составляет от -22 до -26 °С, июля — колеблется в пределах $+14$ — $+18$ °С. Максимальное количество осадков наблюдается на водоразделах (350–500 мм в год), минимальное — в долинах рек (300–350 мм) (Экологический атлас, 2015).

В сырых, заболоченных и затененных участках встречаются многолетнемерзлотные породы. Побережье и акватория озера активно используется для рыболовного туризма. Имеются небольшие заброшенные пахотные угодья и пастбища. Развивается лечебно-оздоровительный туризм. К сожалению, на побережье озера в устье р. Кичера расположены гаражно-садоводческие товарищества с уличными туалетами, которые расположены менее чем в 10 м от уреза воды озера Байкал.

По ботанико-географическому районированию Прибайкалья (Белов и др., 1993) территория исследования относится к Байкальскому озерному округу Прибайкальской провинции Южно-Сибирской горнотаежной области.

Согласно почвенно-географическому районированию (Belozertseva et al., 2015) Северное Прибайкалье входит в котловинно-долинный Верхнеангарский

округ подзолистых, торфяных эутрофных и аллювиальных почв. В структуре почвенного покрова выражена высотная зональность. В таежно-лесной зоне наряду с подбурами доминируют подзолы (Гаузе, 1983).

На почвенной карте Бурятии (Масштаб 1:1000000), составленной В.П. Мартыновым и Ц.Х. Цыбжитовым под редакцией Р.В. Ковалева, О.В. Макеева (Почвенный покров Бурятской АССР, 1980) Северное Прибайкалье представлено почвами: пойменными дерновыми, заболоченными и болотными (мерзлотными), глееземами торфяно-перегнойными таежными мерзлотными, подзолами иллювиально-гумусово-железистыми, подзолистыми, дерново-подзолистыми, подбурами темными и светлыми (охристыми), черноземами выщелоченными (мучнисто-карбонатными и бескарбонатными).

На почвенной карте Бурятии (Масштаб 1:3000000) (Убугунов и др., 2012) на территории исследования выделены подбуры, дерново-подбуры, подзолы, дерново-подзолы глеевые, торфяные эутрофные и аллювиальные почвы.

На исследуемой территории находятся минеральные источники. Например, термальный минеральный источник «Дзелиндинский», расположенный в устье р. Джелинда – притока р. Верхняя Ангара. Минеральная вода в данном источнике характеризуется как гидрокарбонатно-сульфатная и сульфатно-гидрокарбонатная натриевая, богатая азотом, фтором, радоном с небольшим содержанием сероводорода (Пыхалова, Аненхонов, 2014).

Отбор почвенных образцов для анализов осуществлялся на ключевых площадках с органогенных горизонтов согласно общепринятому методу (ГОСТ 17.4.02. – 84, 1984).

Количественный учет гетеротрофных эубактерий, актиномицетов, микромицетов проводили стандартным метом Коха (Практикум по микробиологии, 2005). При идентификации микроорганизмов различных таксономических групп использовали определители бактерий, актиномицетов, микроскопических грибов соответственно (Определитель бактерий Берджи, 1997; Гаузе, 1983; Литвинов, 1967). Степень ферментативной активности микроорганизмов (каталазной и амилазной) определяли по реакции с раствором перекиси водорода и йодистого калия соответственно (Практикум по микробиологии, 2005). Санитарно-бактериологическую оценку проводили в соответствии СанПин – 2.17.1287-03 (Гигиенические нормативы, 2011). Уровень биохимической активности почв (БАП) определен экспресс-методом по Т.В.Аристовской и М.В.Чугуновой (1989). Сущность метода состоит в регистрации скорости (в часах) изменения рН от выделяемого аммиака при разложении карбамида. Данный интегральный показатель послужил нашим выбором не случайно. Известно, что биохимическая активность почв является информативным показателем её функциональных возможностей на текущий момент времени и контролируется экологическими факторами.

Щелочно-кислотные условия регистрировались потенциометрическим методом.

Результаты и обсуждение. Описание исследованных почв, растительность и щелочно-кислотные условия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика исследуемых территорий Северного побережья оз. Байкал

№ образца	Местоположение	Растительность	Почвы	pH, ед
1	с. Байкальское, берег Байкала, устье р. Рель	Разнотравно-злаковый луг, пастбище	Торфяно-глеезем	6,10
7	Предгорная поверхность, 250 м от оз. Байкал	Сорная растительность, залежь	Агрозем	7,0
10	Предгорная поверхность, 350 м от оз. Байкал	Полынно-разнотравно-злаковая степь	Черноземовидная	6,85
18	Первая терраса оз. Байкал, рядом с п. Нижнеангарск	Разнотравно-злаковый луг, вблизи с детским лагерем	Аллювиальная гумусовая	6,24
21	Долина р. Кичера	Разнотравно-осоковое болото	Аллювиальная торфяно-глеевая	6,41
23	Долина р. Холодная	Березово-сосновый с елью и кедром мелкотравно-разнотравный лес	Торфяно-подбур	5,94
27	Ярки	Осоковое болото, зона рыболовного туризма	Торфяно-криозем	5,64
29	г. Северобайкальск, высокая терраса р. Тья	Сосняк злаково-разнотравный	Дерново-подбур	7,01
32	Побережье оз. Байкал, около устья р. Тья	Осоково-разнотравно-злаковый луг, пастбище	Аллювиальная перегнойно-глеевая	7,57
33	Устье р. Тья, пойма	Осоковое болото с кустарниковой березой	Аллювиальная торфяно-глеевая	5,43
39	Побережье оз. Байкал	Разнотравно-осоковый луг заболоченный, гаражно-садовое товар-во, 10 м от уреза воды	Аллювиальная перегнойно-глеевая	7,70
40	Пойма р. Верхняя Ангара	Разнотравно-злаковый луг	Слоисто-аллювиальная	7,03
42	Минеральные источники Дзелинда	Пихтово-кедровый с березой кустарниковый разнотравно-злаковый лес, палаточный лагерь	Слоисто-аллювиальная гумусовая	6,20
44	г. Северобайкальск, около гостиницы	Сосняк разнотравный после пожара	Урбо-дерново-подбур пирогенный	6,93

Географические закономерности формирования почвенного покрова на исследуемой территории чрезвычайно сложны, так как на слабо выраженную

зональность накладывается высотно-вертикальная поясность. Почвы Северного побережья Байкала характеризуются разнообразием (см. табл. 1). Они представлены аллювиальными торфяно-глеевыми, аллювиальными перегнойно-глеевыми. В условиях постоянного затопления паводковыми водами формируются слоисто-аллювиальные гумусовые почвы. В межгорных котловинах формируются черноземовидные почвы. Почвы речных долин представлены аллювиальными перегнойно-глеевыми, аллювиальными торфяно-глеевыми, аллювиальными темногумусовыми.

Состав основных систематических групп микробиоты и их энзиматическая активность представлены в таблице 2. Численность гетеротрофных зубактерий колеблется в широких пределах в зависимости от типа почвы (от 0,27 до 8,2 млн. КОЕ/г). Среди них малочисленными оказались неспоронные, состав которых типичен для почв Сибири. Доминируют *Bac. cereus*, *Bac. mycoides*, *Bac. mesentericus*.

Зарегистрировано чрезвычайно широкое варьирование количества актиномицетов. Диапазон составляет – 0,2-260 тыс. КОЕ/г. Разнообразие актиномицетов невысокое и представлено белыми и серыми цветовыми линиями секций *Albus* и *Cinereus* рода *Streptomyces*.

Грибной компонент в качественном отношении более разнообразен и представлен следующими видами: *Penicillium flavus*, *Penicillium notatum*, *Penicillium ssp.*, *Penicillium cyclopium*, *Trichoderma album*, *Trichoderma lignorum*, *Mucor ssp.*, *Cladosporium ssp.*, *Verticillium ssp.*, *Fusarium ssp.*, *Spicaria ssp.*

Таблица 2
Количественно-качественный состав и энзиматическая активность микробиоценозов в почвах Северного побережья оз. Байкал

№ образца	Гетеротрофные зубактерии, млн. КОЕ/г	Актиномицеты, тыс. КОЕ/г	Микромицеты, тыс. КОЕ/г	Каталазо-активные формы, %	Амилолитически-активные формы, %
1	7,4	120	2,3	40	100
7	4,2	40,0	10,0	100	80
10	4,2	240,0	12,0	50	100
18	6,4	260,0	0,8	100	100
21	0,27	0,65	0,6	40	50
27	0,78	не обн.	0,14	60	не обн.
32	8,2	0,2	2,6	30	не обн.
33	0,21	0,6	0,7	90	не обн.
39	2,6	не обн.	0,7	40	не обн.
40	2,6	0,7	0,9	100	20
42	8,0	7,0	2,9	80	20
44	2,1	250	2,2	80	90

Следует отметить, что спецификой качественного состава микромицетов явилось единичное присутствие в трех пробах почвы (разрезы — 7,18,44)

микроскопических плесневых грибов вида *Aspergillus niger*, и *Aspergillus flavus*, характерных для почв Байкальской территории (Напрасникова и др., 2015).

Выявление энзиматической активности проросших на средах микроорганизмов показало, что каталазную активность они проявляют во всех почвах. При этом их относительное содержание колеблется от 40 до 100%. Активно продуцирующие каталазу, проявили микроорганизмы из агроземов и аллювиально гумусовых почв. Амилолитически-активные формы показали более пеструю картину: их содержание колеблется от 20 до 100%, а в некоторых почвах (устье р. Тья и осоковое болото) не были обнаружены.

На изучаемой территории отбор почв в большинстве совпал с рекреационными зонами. В этой связи, был произведен дополнительный анализ санитарно значимых микроорганизмов. Результаты показали, что во всех почвенных пробах присутствуют санитарно-показательные бактерии группы кишечной палочки. Их количество определялось местом отбора проб. В таблице 3 приведены данные краткого санитарно-микробиологического анализа почв по таким основным показателям, как количество коли-формных бактерий группы кишечной палочки (БГКП), а также их коли-индекс и коли-титр на среде Эндо с лактозой. Кроме того, определён перфрингенс-титр клостридий, свидетельствующий о старых фекальных и бытовых загрязнениях почвы.

Таблица 3

Санитарно-микробиологические показатели почв Северного побережья оз. Байкал

№ образца	Коли-индекс БГКП	Коли-титр БГКП	Перфрингенс-титр клостридий	Оценка санитарного загрязнения почв
1	370	0,001	0,001	загрязненная
7	30	0,1	0,1	умеренно загрязненная
10	20	0,1	0,1	умеренно загрязненная
18	240	0,001	0,001	загрязненная
21	20	0,1	0,001	умеренно загрязненная
27	390	0,001	0,001	загрязненная
32	300	0,01	0,01	загрязненная
33	50	0,1	0,01	умеренно загрязненная
39	600	0,001	0,001	загрязненная
40	63	0,1	0,01	умеренно загрязненная
42	500	0,001	0,001	загрязненная
44	410	0,001	0,001	загрязненная

Полученные результаты (табл.3) позволяют заключить, что в санитарно-микробиологическом отношении только часть исследуемых почв можно отнести к относительно благополучным. В образцах почв пастбищ, вблизи детского лагеря, г. Северобайкальск, зоны активного рыболовного и лечебно-оздоровительного туризма, около гаражей и садоводств, расположенных на побережье оз. Байкал (под номерами 1, 18, 27, 32, 39, 42, 44) обнаружены бактерии группы кишечной палочки,

а также анаэробные клостридии вида *Clostridium perfringens*. Бактерии вида *Escherichia coli* свидетельствуют о свежем фекальном загрязнении исследуемых почв.

Известно, что процессы обмена вещества и энергии при участии биокатализаторов-ферментов, представляют фундаментальную основу существования любой экосистемы. Не вызывает сомнений факт, что биологическая активность почв (БАП), обусловленная действием ферментов, надежный индикатор современных режимов почвы, в то время как физические и химические свойства заложены в её «памяти». БАП может быть определена по процессу аммонификации или скорости выделения аммиака, что считается интегральным выражением современного состояния любой почвы. Исходя из этого, нашим выбором послужил экспресс-метод определения БАП по Т.В. Аристовской и М.В.Чугуновой [1], сущность которого описана выше.

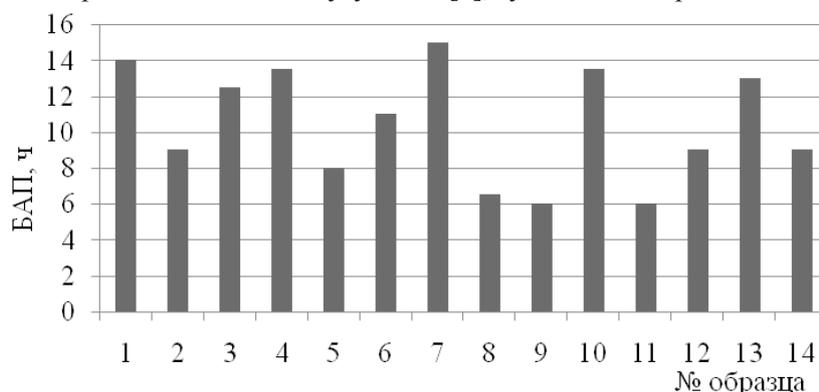


Рис.1. Уровень биологической активности почв Северного побережья оз. Байкал

Результаты определения БАП представлены на графике (см. рис. 1). Чем меньше количество часов, регистрирующих скорость реакции, тем активнее считается БАП. Скорость разложения карбамида колеблется от 5 до 15 часов (далее единиц). По уровню активности трансформации азотсодержащих органических веществ, исследуемые почвы условно можно разделить на две группы. Первая – со средней активностью: от 5 до 8, вторая – от 9 до 15 единиц — со слабой. Уровень БАП зависит от многих экологических факторов. Одним из определяющих являются щелочно-кислотные условия. В исследуемых почвах pH варьируют от 5,4 до 7,7 ед. Располагая этими показателями, мы выявили тренд зависимости БАП от pH среды (см. рис. 2).

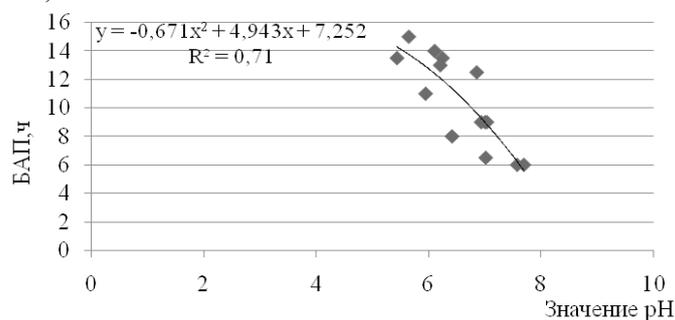


Рис.2. Тренд взаимосвязи биологической активности исследуемых почв от щелочно-кислотных условий

Статистическое распределение исходной информации в поле графика показало её приуроченность к области значений рН от слабо-кислых до слабо-щелочных. Взаимосвязь по шкале Чеддока значима: $R^2 = 0,71$. Качественная характеристика силы связи близка к высокой.

Заключение

Проведенные исследования на территории Северного побережья оз. Байкал позволили охарактеризовать типы почв и их экологические особенности, что является восполнением недостаточной изученности Северного побережья оз. Байкал. Выявлены количественно-качественные характеристики таксономических групп микроорганизмов, ранее в этом регионе не изучавшиеся. Показана высокая вариабельность культивируемой гетеротрофной части эубактерий в пространстве (от 0,21 до 8,2 млн. КОЕ/г почвы). Наибольшая численность данного компонента приурочена к аллювиально перегнойно-глеевой почве. Высокое разнообразие микроскопических грибов, их значительная продуцирующая энзиматическая активность подтверждает в прогностическом плане, благоприятные условия для самоочищающей способности почв. В санитарно-микробиологическом отношении почвы пастбищ, вблизи населенных пунктов, зоны активного рыболовного и лечебно-оздоровительного туризма, около гаражей и садоводств, расположенных на побережье оз. Байкал можно отнести к неблагополучным. Обнаружены бактерии группы кишечной палочки, анаэробные клостридии. Степень БАП, связанной с трансформацией азотсодержащих органических соединений, на текущий момент времени, позволяет отнести изученные почвы к средне- и малоактивным. Взаимосвязь БАП и рН по шкале Чеддока значима ($R^2 = 0,71$).

Кроме научной новизны исследования имеют и практическую направленность, ориентированную на информационное обеспечение управления средой обитания человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта НИР № АААА-А17-117041910169-4 (0347-2016-0002) и гранта РФФИ № 18-45-030039.

Литература

1. Аристовская Т. В. Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. №11. С. 142–147.
2. Белов А. В., Моложников В. Н., Тюлина Л. Н. Растительность. Ботанико-географическое районирование // Байкал: атлас. М., 1993. С. 114–115.
3. Белозерцева И. А., Владимиров И. Н., Убугунова В. И., Убугунов В. Л., Екимовская О. А, Бардаш А. В. Почвы водоохранной зоны озера Байкал и их использование // География и природ. ресурсы. 2016. № 5. С. 62–71.
4. Гаузе Г.Ф. Определитель актиномицетов. М.: Изд-во Наука, 1983. 245 с.
5. Гигиенические нормативы / Под. ред. Г.Г. Онищенко. СПб: Проффессионал, 2011. С. 118.
6. ГОСТ 17.4.02. 84. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 1984. С. 4.
7. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов / М. А. Литвинов. Л.: Наука, 1967. 303 с.

8. Напрасникова Е.В., Макарова А.П., Белозерцева И.А. Санитарно-микробиологические и биохимические особенности почв Ольхонского района (Байкальский регион) // Сиб. мед. журн . 2015. № 1. С.83-85.
9. Определитель бактерий Берджи. пер. с англ./ под ред. Дж. Хоулта. М.: Изд. «Мир», 1997. Т.1 303 с.
10. Почвенный покров Бурятской АССР. Карта 1 : 1000 000 Мб. Авторы: Мартынов В.П., Цыбжитов Ц.Х. при участии Воробьева М.Д., Иванова Г.М., Кокорина Ю.Н., под ред Кавалева Р.В. и Макеева О.В. и др., Иркутск, Бурятский филиал СО АН СССР, Иркутский государственный университет им. А.А. Жданова, 1980.
11. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для студ. Вузов/ под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.
12. Пыхалова Т.Д., Аненхонов О.А. Локальная флора «Дзелинда» (Северное Прибайкалье) // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. № 9. С. 1043 – 1055.
13. Трофимова И.Е. Типизация и картографирование климатов Байкальской горно-котловинной системы // География и природ. ресурсы. 2002. № 2. С. 53-61.
14. Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б. Гынинова А.Б., Убугунов В.Л., Балсанов Л.Д. Почвы Бурятии: разнообразие, систематика и классификация // Вестн. Бурят. гос. сельхоз. акад. им. В.Р.Филиппова. 2012. №2. С.45 –52.
15. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: ИГ СО РАН, 2015. 215 с.
16. Belozertseva I.A., Dorygotov D., Sorokovoy A.A. Soils of pool of lake Baikal and soil-ecological zoning in territory of Russia and Mongolia // SYLWAN. 2015. T.159. № 8. P. 319-332.

MICROBIOTA AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF THE NORTHERN COAST OF LAKE BAIKAL

E. N. Naprasnikova, A. P. Makarova, I. A. Belozertseva

Naprasnikova Elizaveta Viktorovna

Cand. Sci. (Biology) senior research scientist
Sochava Institute of Geography SB RAS 1, Ulan-Batorskaya, st., Irkutsk, 664003
E-mail: napev@irigs.irk.ru

Makarova Albina Pavlovna

Ph. D. in Biology, ass.prof.
Irkutsk State University 1, K.Marx St., Irkutsk, 664003
E-mail: nadin_buk@mail.ru

Belozertseva Irina Aleksandrovna

Cand. Sci. (Geogr.) senior research scientist
Sochava Institute of Geography SB RAS 1, Ulan-Batorskaya, st., Irkutsk, 664003
Head of the Landscape Geochemistry and Soil geography Laboratory
E-mail: belozia@irigs.irk.ru

New experimental data have been obtained from studying the soils of the Northern coast of Lake Baikal. This research provides a detailed description of the soils characteristic for the study area. The indicators of acid-alkaline conditions were determined. According to the

degree of biological activity of the soils used in the study, they are categorized as moderately and weakly active. The study revealed a noticeable (on Chaddock's scale) relationship of this activity with acid-alkaline conditions ($R^2 = 0.7$). The quantitative-qualitative characteristics of the soil microbiocenoses are considered in detail. The heterotrophic eubacterial count varies over a broad range depending on the type of soil (from 0.27 to 8.2 million CFU/g). Qualitatively, the fungal component is very diverse. Sanitary-microbiological indicators of the soils were determined for the lakeshore in the vicinity of settlements, garages and dacha gardens as well as in the recreation zone.

Keywords: Northern coast of Baikal, soils, microbiota, biological activity.