

УДК 581.4:631.46(529)

Биометрический и микробиологический подход к оценке состояния молодых насаждений *Hippophae rhamnoides* subsp. *chinensis* Rousi на нарушенных землях высокогорий уезда Хуньюань (Сычуань, Китай)

Лепешкина Л. А.¹, Черепухина И. В.¹, Воронин А. А.¹, Ли Лин², Клевецова М. А.¹

¹ Воронежский государственный университет

Воронеж, Россия

lilez1980@mail.ru, icherepukhina@gmail.com, voronin@bio.vsu.ru, klevtcova@geogr.vsu

² Сычуаньский провинциальный институт наук о природных ресурсах

Чэнду, Китай

liling0616@foxmail.com

В данном исследовании рассматриваются результаты оценки состояния молодых насаждений *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *chinensis* Rousi на нарушенных землях высокогорий уезда Хуньюань с использованием биометрических и микробиологических подходов. Установлено, что динамика роста молодых саженцев облещихи соответствует начальным этапам онтогенеза, но имеет некоторые особенности. Выявлено, что растения третьего года не формируют корневое потомство на горизонтальных корнях и не вступают в генеративную стадию онтогенеза, что обусловлено более экстремальными условиями высокогорной среды. Насаждения *H. rhamnoides chinensis* классифицируются как здоровые с явными признаками ослабления. Количество здоровых растений составляет 60,5 %, ослабленных – 27,2 %, сильно ослабленных – 12,3 %. Почвы под насаждениями облещихи характеризуются высокой неоднородностью микробиологических условий и доминированием процесса иммобилизации азота во фракции почвенного гумуса. В них отмечено доминирование зимогенных микроорганизмов (4,0–17,0 млн. в 1 г почвы) и высокая доля микромицетов (47,1 тыс. КОЕ в 1 г почвы). Соотношение основных таксономических и эколого-трофических групп микроорганизмов свидетельствует о бедности почвы азотом. Прогнозируется, что через 2–3 года в районе исследования сформируются разреженные, а местами фрагментарные насаждения *H. rhamnoides chinensis*. Они будут постепенно развивать свои средообразующие функции, закреплять и удерживать подвижную поверхность песчаных почв, предотвращать развитие дефляционных и водноэрозионных процессов, контролировать потерю органического вещества и поддерживать плодородие почвы.

Ключевые слова: биометрический и микробиологический подход, оценка жизненного состояния саженцев, насаждения облещихи, *Hippophae rhamnoides*, провинция Сычуань.

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире большие площади земель подвержены процессам опустынивания и деградации из-за сведения лесов и перевыпаса скота. В результате формируются очаги ветровой и водной эрозии, снижается плодородие почв (Kairis et al., 2013). Особая роль в экологической реставрации таких территорий отводится растениям, которые быстро растут в условиях бедных и нарушенных земель, фиксируют подвижную поверхность почв и увеличивают их плодородие (Воронин и др., 2016а). Среди таких растений – *Hippophae rhamnoides*, которая является актиноризальным растением и образует симбиотические отношения с азотофиксирующими бактериями рода *Frankia* (Воронин и др., 2016).

H. rhamnoides это двудомный лиственный кустарник, широко распространенный в высокогорьях (800–3600 м н.у.м.). Ее насаждения широко используются для экологической реставрации нарушенных земель, рекультивации промышленных отвалов, в целях агролесомелиорации и лесовосстановления (Трофимов, 1988; Оптимизация ландшафтов..., 2005).

В Китае площадь земель, подверженных опустыниванию, составляет 334 000 км² (Kairis et al., 2013). Особенно активно процесс опустынивания развивается на северо-западе

провинции Сычуань. Чтобы стабилизировать ситуацию и сохранить высокопродуктивные пастбища в субальпийском холодном поясе лугов создаются культуры *H. rhamnoides* L. subsp. *chinensis* Rousi. Основная проблема, с которой сталкиваются при экологической реставрации высокогорных территорий это низкая приживаемость древесно-кустарниковых растений в искусственных насаждениях.

Основная цель исследования – оценка состояния молодых насаждений *H. rhamnoides chinensis* на нарушенных высокогорных землях уезда Хуньюань. Задачи исследования: изучить жизненное состояние насаждений по биометрическим показателям растений; изучить разнообразие почвенных микроорганизмов и дать оценку микробиологическим процессам в почвах и ризосфере растений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Общая характеристика района исследования. Полевые изыскания проводились в начале августа 2018 года сотрудниками Воронежского государственного университета и Сычуаньского провинциального института наук о природных ресурсах.

Район исследования располагается в пределах уезда Хуньюань Нгава-Тибетско-Цянского автономного округа на северо-западе провинции Сычуань и относится к бассейну реки Хуанхэ.

Климат континентальный муссонный холодно-умеренной зоны плато, нет очевидных границ четырех времен года. Среднегодовая температура воздуха 1,4 °С, абсолютный минимум – -36,0 °С, абсолютный максимум – +26,0 °С. Суточная амплитуда температуры воздуха в среднем 16,3 °С. Среднегодовое количество осадков 749,1 мм. Особо выделяются следующие характеристики климата: разреженность воздуха, пониженное атмосферное давление, пониженное содержание в атмосфере кислорода, низкая запыленность и влажность воздуха, высокая интенсивность солнечной радиации (более 3000 часов солнечной инсоляции в год). В целом климат можно отнести к полуаридно-гумидному типу (Воронин и др., 2016б).

Экспериментальные молодые насаждения облепихи созданы в 2015–2018 годы экспериментальные участки располагаются на холмистом плато высотой 3459 м над уровнем моря, координаты: 31°10.670", 102°37.572". За три года здесь было высажено около 200 000 саженцев *H. rhamnoides chinensis* (рис. 1а, 1б).

Размер экспериментальной территории, отведенной под культивирование облепихи, составляет 70,5 га. Рельеф крупноволнистый. Здесь чередуются участки с сухими, увлажненными и переувлажненными почвами, отмечены процессы оглеения. Подвижные песчаные поверхности развиты на склонах более 5°. В понижениях отмечается застой воды и процессы засоления.

Согласно флористическому районированию территория исследования относится к Центрально-Китайской провинции Восточноазиатской области Голарктического царства (Тахтаджян, 1978). Здесь представлены травяные и кустарниковые сообщества на альпийских и субальпийских болотных, луговых и пустынных почвах. Среди жизненных форм доминируют каудексные и короткокорневищные вегетативно неподвижные растения (Elumeeva et al., 2013).

По занимаемой площади лидируют разнотравно-злаковые сообщества с высоким участием *Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb., *Elymus nutans* Griseb. и *Artemisa* sp. В составе флоры отмечены: *Rarunculus tanguticus* (Maxim.) Ovcz., *Sedum costantinii* Hamet, *Thlaspi arvense* L., *Galium verum* L., *Peucedanum praeruptorum* Dunn., *Heracleum millefolium* Diels, *Gentiana sino-ornata* Balf. f., *Kobresia kansuensis* Kiikenth, *K. persica* Kük. & Bornm., *Aconitum pendulum* Busch, *Oxytropis kansuensis* Bunge, *Saussurea salicifolia* (L.) DC., *Polygonum viviparum* L. и др. Видовая насыщенность колеблется от 35 до 52 видов на 100 м².

Методы. Для оценки жизненного состояния молодых насаждений облепихи использовали биометрические показатели растений (диаметр побега у поверхности почвы, высота побега, длина листа и ширина листа, число боковых скелетных веток, глубина корня, глубина образования клубеньков, их число и размер), полученные путем перечета не менее 100 растений на трех пробных участках.



Рис. 1. Район исследования (а) и *Hippophae rhamnoides chinensis* (б)

По 3-х балльной шкале жизненного состояния кустарниковых растений выявили соотношение здоровых саженцев без признаков ослабления (1 балл), ослабленных (2 балла) и сильно ослабленных (3 балла). Признаками ослабленного растения являются сухая вершина побега, пожелтение не более 20 % листьев, слабый прирост главного побега. Признаками сильно ослабленного саженца являются отмирание главного побега, пожелтение более 20 % листьев, усыхание основных скелетных веток.

Для изучения микробиологических процессов были исследованы 6 образцов почвы, на которой формируются насаждения *H. rhamnoides chinensis*. Их отбирали как непосредственно в ризосфере растений, так и в окружающей ее почве. Определяли влажность почвы, величину рН, содержание подвижных форм азота (нитратной и аммонийной) по общепринятым методикам. Учет численности микроорганизмов различных физиологических, таксономических и эколого-трофических групп осуществляли методом высева почвенной суспензии разной степени разведения на селективные питательные среды (Сеги, 1983; Звягинцев, 1991; Звягинцев и др., 2005; Теппер и др., 2004). Численность аммонификаторов учитывали на мясо-пептонном агаре; микроорганизмов, использующих минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре; олигозофиллов – на среде Эшби. Целлюлозолитические микроорганизмы выделяли на среде Виноградского. Автохтонную группировку определяли на нитритном агаре, зимогенную микрофлору – расчетным методом. Численность спорных бактерий – на мясо-пептонном сусле. Количество фосфобактерий – на среде Менкиной, микромицетов – на подкисленной среде Чапека (Теппер и др., 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика роста и развития молодых растений облепихи по основным параметрам соответствует начальным онтогенетическим стадиям. Основные биометрические характеристики саженцев *H. rhamnoides chinensis* представлены в таблице 1.

К третьему году у растений *H. rhamnoides chinensis* закономерно увеличивается диаметр побега (от 0,46 до 1,25 см), его высота (от 35,04 до 63,9 см), длина (от 2,45 до 3,16 см) и ширина (от 0,45 до 0,68 см) листьев, длина корня (от 34,4 см до 49,6 см). Средний прирост у саженцев второго года составляет 19,5 см, у саженцев третьего года – 9,4 см.

Таблица 1

Биометрические характеристики саженцев *Hippophae rhamnoides chinensis*

Средние значения							
Диаметр основного побега у поверхности земли	Высота саженца, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Глубина корня, см	Число веточек	Глубина образования корневых клубеньков, см	Число клубеньков / их размер, см
Саженцы первого года, 2017/18 гг.							
0,46	35,04	2,45	0,45	34,4	23,8	14,73	5,6/0,75
Саженцы второго года, 2016/18 гг.							
0,93	54,5	2,85	0,58	54,8	30,5	24,7	9,5/1,63
Саженцы третьего года, 2015/18 гг.							
1,25	63,9	3,16	0,68	49,6	12,6	18,53	9,0/1,63

В первый и второй год развития саженцев число боковых веток может превышать 30 шт. Саженцы третьего года имеют уже меньшее число веток (менее 20) – формируется 2–3 основные скелетные оси, что характерно для прегенеративной стадии онтогенеза *H. rhamnoides chinensis*. Глубина образования клубеньков на главном корне сначала увеличивается (до 24,7 см), а на третий год начинает уменьшаться и в среднем составляет 18,53 см.

В результате полевых исследований выявлено, что почти у 10 % здоровых растений облепихи второго года обнаружены погибшие корневые клубеньки на глубине 20–24 см. Они составляют 43–55 % от общего числа клубеньков на растении, их размер – 1,5–1,8 см.

В данных условиях процесс формирования симбиотических отношений *H. rhamnoides chinensis* с азотфиксирующими бактериями быстро развивается на первом и втором году жизни, когда количество корневых клубеньков в среднем – 9,5 штук на одном растении, а их средний размер достигает 1,63 см.

Установлено, что в условиях рыхлых и подвижных песчаных почв высокогорного плато уезда Хуньюань посаженные ранней весной саженцы облепихи, уже в следующем году образуют хорошо развитые горизонтальные корни длиной 9,9–14,2 см. На второй и третий год высота основного побега достигает 55–65 см, замедляется рост основного корня, быстрее начинают развиваться горизонтальные (придаточные) корни (длиной более 40 см). Активное формирование клубеньков на таких корнях начинается только на третий год.

При ранней весенней посадке облепихи к осени обычно погибает около 50 % от всех высаженных саженцев. За летний период у 37,2 % растений отмечено усыхание побегов, которые имели высоту от 31,2 до 40,6 см. У 12,8 % саженцев наблюдались признаки гибели, пожелтения листьев и высыхания спящих почек. У них не сформировались симбиотические связи с азотфиксирующими бактериями (корневые клубеньки не обнаружены), при этом глубина их корня достигала 24,6–28,3 см.

У 10,5 % саженцев 2016 года посадки наблюдалось отрастание нового побега только к осени 2018 года из спящих почек в области корневой шейки. Такие побеги достигали высоты 40,5–55,1 см.

По жизненному состоянию саженцев трехлетнего возраста (высажены в 2015 г.) получено следующее соотношение (рис. 2): здоровые растения без признаков ослабления – 60,5 %; ослабленные – 27,2 %; сильно ослабленные – 12,3 %.

Исследователи отмечают, что корнеотпрысковое возобновление облепихи активно развивается на второй – третий год жизни саженцев, а отпрыски формируются на расстоянии до 0,6 м от материнского растения (Гончаров, 2017). Эта особенность очень важна для фиксации рыхлых и подвижных песчаных грунтов. Установлено, что на опытных

участках уезда Хуньюань даже на третий год облелиха не образовала отпрысков на горизонтальных корнях.

Для *H. rhamnoides* начало генеративной стадии развития характерно на третьем-четвертом году жизни (Трофимов, 1988). В изученных насаждениях генеративных растений не обнаружено, что свидетельствует об особенностях онтогенеза в экстремальных условиях высокогорного плато уезда Хуньюань.

Почвы под насаждениями облелихи. Влажность почвы исследуемой территории колеблется в широких пределах: от 8,9 до 15,8 %. Высокая влажность отмечается в ризосфере растений (табл. 2). Значения рН почвы на разных участках варьировала от 5,41 до 6,58.

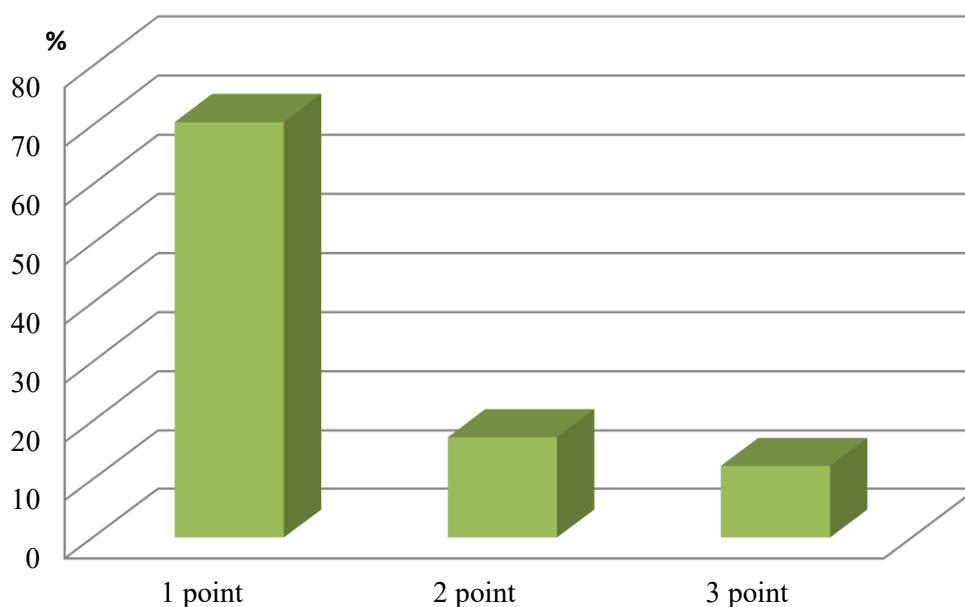


Рис. 2. Соотношение здоровых (1 балл), ослабленных (2 балла) и сильно ослабленных (3 балла) саженцев в насаждениях *Hippophae rhamnoides chinensis* 3 года

Таблица 2

Характеристика почвенных условий

№ образца почвы	рН	NO ₃ , мг/100 г почвы	N-NH ₄ , мг/100 г почвы	Влажность, %
1	5,65	1,68	7,98	8,9
2	5,76	1,81	7,64	12,8
3 (ризосфера)	5,41	1,26	7,54	13,9
4	6,58	0,92	7,78	11,2
5	6,58	1,15	7,39	15,7
6 (ризосфера)	6,45	0,30	7,99	15,8

Численность аммонифицирующих бактерий в исследуемой почве колеблется в широком диапазоне значений от 0,9 до 6,94 млн. КОЕ в 1 г почвы (рис. 3). Более стабильные значения имеют показатели для бактерий-иммобилизаторов – от 2,5 до 10,1 млн. КОЕ в 1 г почвы. Полученные данные подтверждают высокую гетерогенность микробиологических условий и преобладание процесса иммобилизации азота во фракции почвенного гумуса.

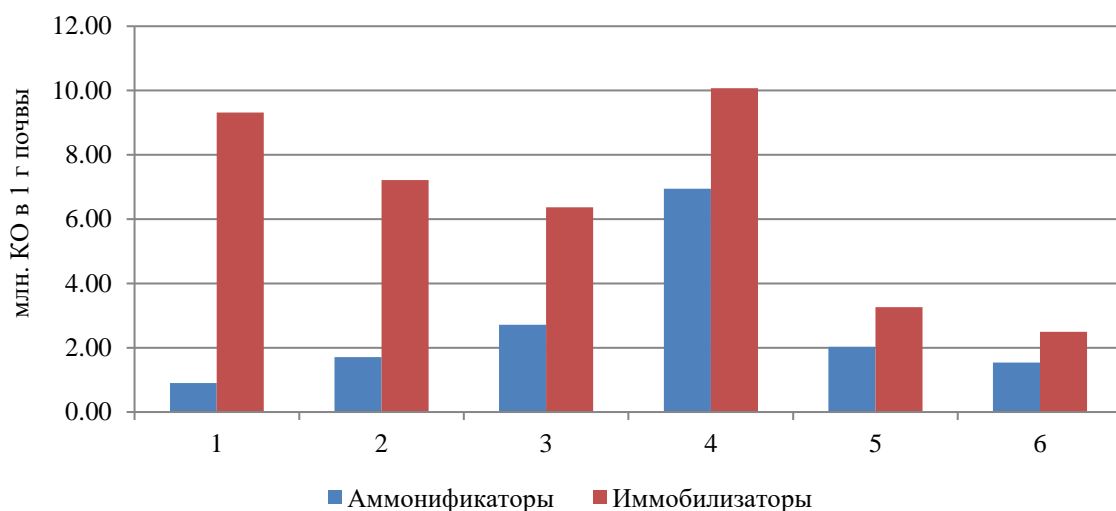


Рис. 3. Численность аммонификаторов и иммобилизаторов в почве и ризосфере (1–6 – номера образцов почвы)

Наличие зимогенных микроорганизмов в почве в количестве от 4,0 до 17,0 млн. КОЕ в 1 г почвы (рис. 4) индицирует процесс увеличения органических веществ. Причем практически во всех образцах эта группа бактерий превышает по численности автохтонную микрофлору (от 1,8 до 14,1 млн. КОЕ в 1 г почвы).

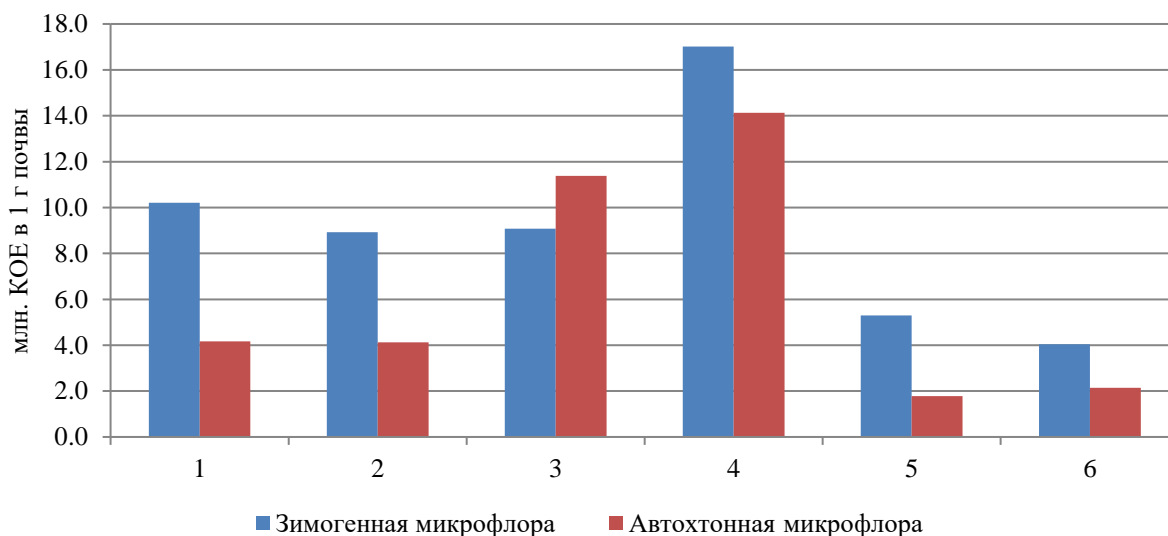


Рис. 4. Численность зимогенной и автохтонной микрофлоры в почве и ризосфере (1–6 – номера образцов почвы)

Численность почвенных микромицетов представлена в диапазоне значений от 15,2 до 47,1 тыс. КОЕ в 1 г почвы (рис. 5), что подтверждает высокое участие грибной микрофлоры в разложении различных органических соединений. Часть продуктов этой реакции используется для синтеза гумусовых веществ, другая – для питания растений.

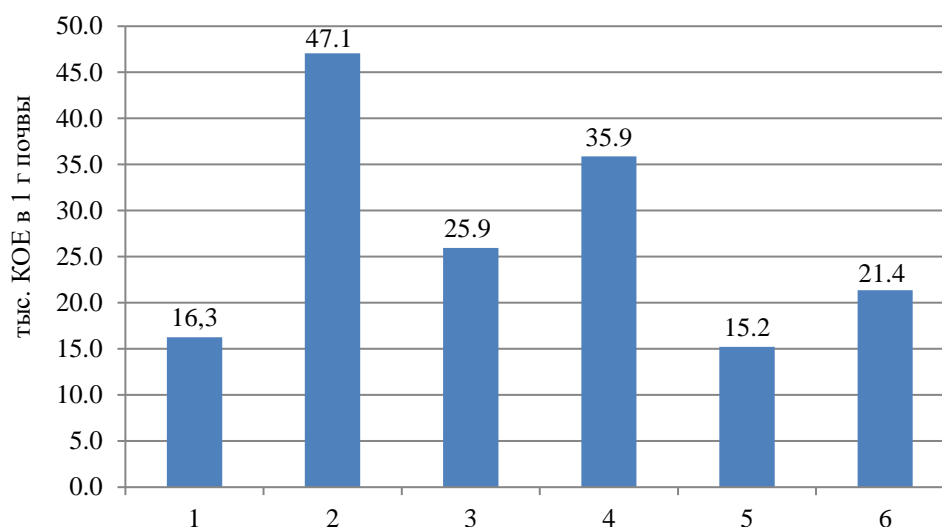


Рис. 5. Численность микромикетов в почве (1–6 – номера образцов почвы)

По соотношению основных таксономических групп микроорганизмов в почвенных образцах № 5 и № 6 преобладают споровые (0,77; 1,06 млн. КОЕ в 1 г почвы), в образцах № 2, № 3 – целлюлозолитики (1,38; 0,70 млн. КОЕ в 1 г почвы), № 1, № 4 – актинобактерии (1,68; 1,39 млн. КОЕ в 1 г почвы) (рис. 6).

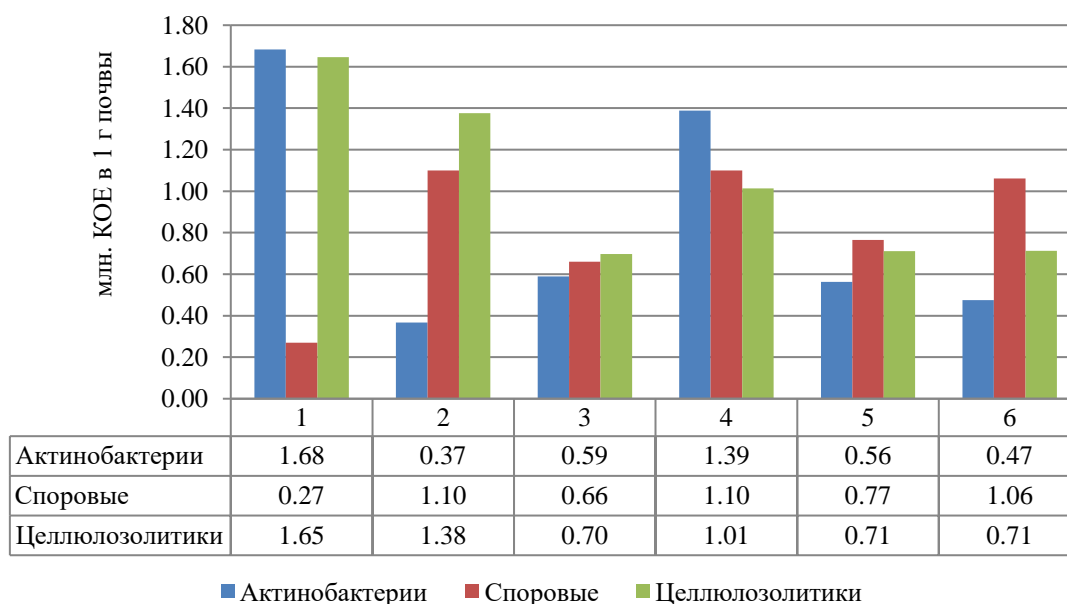


Рис. 6. Численность микроорганизмов, участвующих в разрушении сложных полимерных соединений в почве (1–6 – номера образцов почвы)

В исследуемой почве среди групп микроорганизмов, участвующих в круговороте азота и фосфора доминируют олигозафилы, которые развиваются на малообеспеченном азотом субстрате (рис. 7). Далее следуют фосфобактерии, численность которых была выше в почве и ризосфере растений 3 года – 2,14-4,04 млн. КОЕ в 1 г почвы.

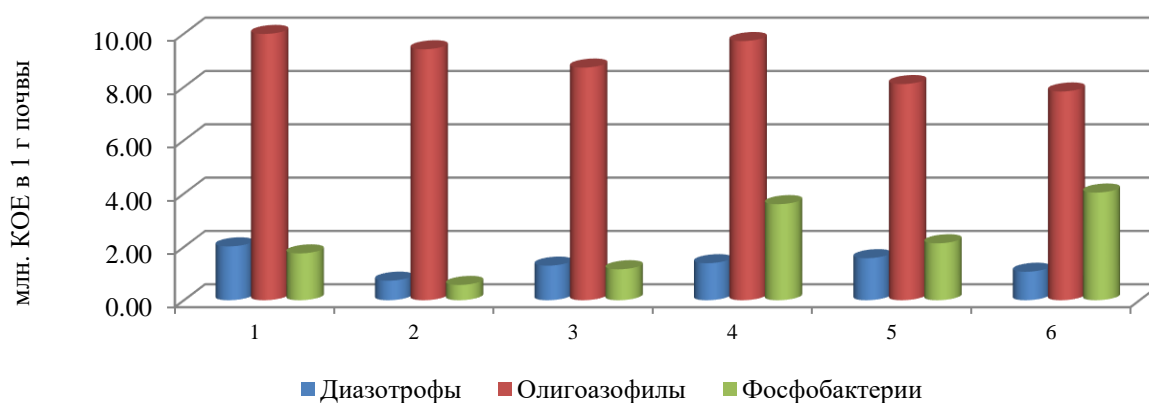


Рис. 7. Численность микроорганизмов, участвующих в трансформации азотных и фосфорных соединений в почве (1–6 – номера образцов почвы)

Во всех образцах почвы численность диазотрофов (азотофиксирующих бактерий) находилась в близком диапазоне значений (0,73–2,02 млн. КОЕ в 1 г почвы), а олигозаофилы имели стабильно высокие показатели (от 7,83 до 9,99 млн. КОЕ в 1 г почвы). Такое соотношение микроорганизмов свидетельствует о некоторой бедности субстрата доступным для растений азотом, однако наличие в исследуемых почвах фосфобактерий (0,57–4,04 млн. КОЕ в 1 г почвы) подтверждает их хорошую обеспеченность фосфором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По основным биометрическим характеристикам растений выявлена положительная динамика в развитии молодых насаждений облепихи на подверженных опустыниванию землях уезда Хуньюань. Трехлетние насаждения *H. rhamnoides chinensis* классифицируются как здоровые с явными признаками ослабления, где количество здоровых растений – 60,5 %, ослабленных – 27,2 %, сильно ослабленных – 12,3 %. Выявлено, что растения третьего года не формируют корневое потомство на горизонтальных корнях и не вступают в генеративную стадию онтогенеза, что обусловлено более экстремальными условиями высокогорной среды.

Почвы под насаждениями облепихи характеризуются высокой неоднородностью микробиологических условий и доминированием процесса иммобилизации азота во фракции почвенного гумуса. В них отмечено доминирование зимогенных микроорганизмов (4,0–17,0 млн. в 1 г почвы) и высокая доля микромицетов (47,1 тыс. КОЕ в 1 г почвы). Соотношение основных таксономических и эколого-трофических групп микрофлоры свидетельствует о бедности почвы доступным азотом.

Прогнозируется, что через 2–3 года в районе исследования сформируются разреженные, а местами фрагментарные насаждения *H. rhamnoides chinensis*. Они будут постепенно развивать свои средообразующие функции, закреплять и удерживать подвижную поверхность песчаных почв, предотвращать развитие дефляционных и водноэрозийных процессов, контролировать потерю органического вещества и поддерживать плодородие почвы.

Список литературы

Воронин А. А., Лепешкина Л. А., Клевцова М. А. и др. Морфологические особенности семян высокогорных тибетских и равнинных лесостепных популяций *Hippophae rhamnoides* L. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – Вып. № 4 (46), Часть 6. – С. 28–30.

Воронин А. А., Лепешкина Л. А., Клевцова М. А. и др. Научно-практические основы формирования устойчивых насаждений *Hippophae rhamnoides* L. в условиях высокогорий провинции сычуань (Китай) // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016а. – № 4 (46), Часть 1. – С. 31–33.

Воронин А. А., Лепешкина Л. А., Клевцова М. А. и др. Тибетское нагорье как регион-донор растений интродуцентов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016б. – № 4 (46), Часть 1. – С. 25–27.

Гончаров А. Б. Использование облепихи крушиновой (*Hippophae rhamnoides* L.) при фиторемедиации нарушенных экосистем: дис. на соиск. учен. степени канд. сельскохозяйств. наук : спец. 03.02.14 Биологические ресурсы. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Ф. Г. Морозова, 2017. – 154 с.

Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

Оптимизация ландшафтов зональных и нарушенных земель: Мат. Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж / [ред. Я. В. Панков]. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 320 с.

Сеги Й. Методы почвенной микробиологии. – М.: Изд-во «Колос», 1983. – 296 с.

Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. – Л.: Наука, 1978. – 248 с.

Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. – Москва: Дрофа, 2004. – 255 с.

Трофимов Т. Т. Облепиха. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1988. – 159 с.

Elumeeva T. G., Tekeev D. K., Onipchenko V. G. et al. Life-form composition of alpine plant communities at the Eastern Qinghai-Tibetan plateau // Plant Biosystems. – 2013. – Vol. 148 (5). – P. 1–7.

Kairis Or., Kosmas C., Karavitis Ch. A. et al. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Types of Degradation, Causes, and Implications for Management // Environmental Management. – 2013. – Vol. 54 (5). – P. 971–982.

Lepeshkina L. A., Cherepukhina I. V., Voronin A. A., Li Ling, Klevtsova M. A. Biometric and microbiological approach to assessment of condition of young plantations of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *chinensis* Rousi on disturbed lands of highlands of Hongyuan County, Sichuan Province, China // Ekosistemy. 2019. Iss. 17 (47). P. 21–29.

The study examines the results of assessment of condition of young plantations of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *chinensis* Rousi on the disturbed lands of highlands of Hongyuan County. The authors applied biometric and microbiological approaches. It is established that the dynamics of growth of young sea-buckthorn seedlings corresponds to the initial stages of ontogenesis, but has some peculiarities. The research reveals that in extreme high-mountain conditions the plants of the third year do not form root shoots on horizontal roots and do not enter the generative stage of ontogenesis. Plantations of *H. rhamnoides chinensis* are defined as healthy with clear signs of weakening. The number of healthy plants is 60.5 %, weakened plants – 27.2 %, strongly weakened plants – 12.3 %. The soil under the sea buckthorn plantations is characterized by high heterogeneity of microbiological conditions and predominance of nitrogen immobilization process in humus fraction. The authors highlight the dominance of zymogen microorganisms (4.0–17.0 million in 1 g of soil) and a high proportion of soil micromycetes (47.1 thousand CFU in 1 g of soil). The ratio of main taxonomic and trophic groups of microorganisms indicates that soil is nitrogen poor. It is predicted that sparse and in some places fragmentary plantations of *H. rhamnoides chinensis* will be formed in the studied area in 2–3 years. They will gradually develop their environmental functions, consolidate and maintain the moving surface of sandy soils, prevent the development of deflation and water-erosion processes, control the loss of organic matter and maintain soil fertility.

Key words: biometric and microbiological approach, assessment of vital condition of seedlings, sea-buckthorn plantations, *Hippophae rhamnoides*, Sichuan province.

Поступила в редакцию 23.11.18