

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

УДК 502.654/654:631.6

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(79-85)

**ВЛИЯНИЕ КРИОГЕЛЯ НА РАСТЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ
В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Д.А. Филатов, М.С. Фуфаева, В.С. Овсянникова, Л.К. Алтунина, С.Г. Копысов*

Институт химии нефти СО РАН, 634021, Томск, просп. Академический, 4, Россия; filatov@ipc.tsc.ru

**Институт климатических и экологических систем СО РАН,
634021, Томск, просп. Академический, 10, Россия; wosypok@mail.ru*

Показано, что криоструктурирование верхнего почвенного слоя водным раствором полимера вызывает увеличение в агрегатном составе доли более крупных фракций и количества водопрочных агрегатов; угол естественного откоса почвы возрастает с 7 до 45°. Все это указывает на повышение устойчивости криоструктурированной почвы к ветровой и водной эрозии. Криоструктурирование способствует также улучшению роста растений, увеличению численности микроорганизмов и накоплению в почве гумусовых веществ.

Эрозия почв, полимер, криогель, криоструктурированная почва, почвенная микрофлора, многолетние растения, структура почвы

**THE EFFECT OF CRYOGELS ON THE PHYSICAL PROPERTIES
OF SOIL AND PLANTS IN THE COURSE OF A FIELD EXPERIMENT**

D.A. Filatov, M.S. Fufaeva, V.S. Ovsyannikova, L.K. Altunina, S.G. Kopysov*

Institute of Petroleum Chemistry, SB RAS, 634021, Tomsk, Akademicheskyy ave., 4, Russia; filatov@ipc.tsc.ru

**Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,
634021, Tomsk, Akademicheskyy ave., 10/3, Russia; wosypok@mail.ru*

Cryostructurization of top soil with aqueous polymer solution has been demonstrated to result in the increase of the part of coarse fractions and the amount of water-stable aggregates in aggregate composition; the angle of the natural soil slope increases from 7 to 45°. All this suggests increased resistance of cryostructured soil to wind and water erosion. In addition, cryostructurization improves the plant growth, increases the number of microorganisms, and promotes accumulation of humic substances in the soil.

Soil erosion, polymer, cryogel, cryostructured soil, soil microflora, perennials, soil structure

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возрастает интерес к криогелям на основе поливинилового спирта (ПВС). Метод криотропного гелеобразования открывает перспективы для совершенствования уже существующих и создания новых материалов для различного практического использования [Лозинский и др., 2008]. Уникальное сочетание ряда свойств (в первую очередь высокой прочности, биосовместимости, стабильности и инертности) биологических сред и экологической безвредности, а также относительная простота технологии получения позволяют рассматривать криогели как новый тип полимерных систем, интересных в научном и прикладном аспектах. В последнее время эти гели все шире используются в качестве материалов биомедицинского и биотехнологического

назначения, а также в пищевой промышленности [Lozinsky, 2002].

Кроме того, криоструктурирование почвы может применяться для защиты от эрозии и борьбы с опустыниванием, а также для улучшения выживаемости растений в неблагоприятных (температура, влажность и др.) внешних условиях среды [Алтунина и др., 2012].

Масштабы деградации почвенно-растительного покрова заставляют обращать все более пристальное внимание на состояние почвенной оболочки Земли, являющейся местом пересечения всех потоков энерго- и массообмена на планете и выполняющей важнейшие биосферные и экосистемные функции: обеспечение жизни на Земле, сохранение биоразнообразия, поддержание совре-

менного климата Земли и существующего режима функционирования всех структурных составляющих биосферы – атмосферы, гидросферы, литосферы. Специальные исследования указанных функций приведены в обширной литературе [Елисеев, Чевеверев, 2008; Ковда, 2008; Sokolov et al., 2010]. Площадь всей почвенной оболочки Земли, естественно-исторически образовавшейся в ходе эволюции, составляет около 13 млрд га [Добровольский, 2002], из них в мировом сельском хозяйстве используется около 4 млрд га. Эти площади зачастую подвержены эрозии, в большинстве случаев характеризуются уменьшением запасов органического вещества, снижением биологической продуктивности и изменением типа биологического круговорота [Gendugov, Glazunov, 2009].

Разрушение почвы в результате водной эрозии и дефляции проявляется в различных формах: образование промоин и оврагов, смыл и унос ветром плодородного слоя с полей, пыльные бури и, как следствие, неконтролируемые эоловые отложения – дюны, барханы и др. Эти явления охватывают огромные площади во всем мире. Водной эрозии подвержен 31 % суши, ветровой – 34 %. В Мировой океан ежегодно смывается до 60 млрд т почвенного материала.

Ущерб, причиняемый эрозией и дефляцией сельскому хозяйству, проявляется не только в разрушении почв, но и в выносе из них питательных элементов – N, K, P, Ca, Mg. В мировом масштабе эрозия уносит из почвенного покрова полей и пастбищ в 60 раз больше элементов питания растений, чем их поступает с удобрениями. Производительность эродированных почв снижается на 35–80 % [Kretinin, 2006]. На современном этапе развития сельскохозяйственного производства защита почв от эрозии, сохранение растительного покрова и охрана окружающей среды от загрязнения – важнейшие проблемы мирового земледелия [Елисеев, 2007].

В Институте химии нефти СО РАН предложен комплексный химико-биологический метод закрепления подвижных почв и грунтов, предполагающий пропитку их верхнего слоя криогелеобразующим раствором ПВС с одновременным высевом семян травянистых многолетних культур. Закрепление происходит после цикла замораживания–оттаивания при колебаниях суточных температур от отрицательных к положительным, за счет формирования на поверхности почвы криогеля, в полимерной матрице которого находятся твердые частицы почвы. Ранее показано, что растворы ПВС имеют высокую адгезию к песчаным и глинистым грунтам, а также к почвам разного состава [Алтунина и др., 2010; Altunina et al., 2006]. Разрозненные частицы грунта или почвы связываются в криоструктуры, обладающие устойчивостью к эрозии и достаточной упругостью и не пре-

пятствующие прорастанию растений [Алтунина и др., 2013а; Способ..., 2013]. Криоструктурирование верхнего слоя почвы или грунта выполняет защитную функцию для растений на этапе прорастания семян и формирования дернины, а также влияет на содержание подвижных форм биофильных макро- и микроэлементов в почве [Altunina et al., 2014]. Кроме того, показано, что у растений, растущих в криоструктурированной почве, в 2–2.5 раза повышается интенсивность фотосинтеза и эффективность использования воды по сравнению с растениями в обычной почве [Алтунина и др., 2013б,в], что говорит об их более высокой адаптивности.

Целью данной работы было исследование влияния криоструктурирования верхнего почвенного слоя на его свойства в условиях полевого эксперимента.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили серая лесная легкосуглинистая почва, поливиниловый спирт со средней молекулярной массой 75 000 и характеристической вязкостью его водных растворов $\eta = 0.56$ дл/г.

Опыт по криоструктурированию почвы в полевых условиях проводили на территории Томской области в 2013 г. Экспериментальная площадка представляла собой шесть участков размером 1×1 м, засеянных тест-культурой (щучка дернистая *Deschampsia cespitosa*). Верхний слой почвы опытных участков был обработан водным 5%-м раствором ПВС методом дождевания из расчета 2.5 л на 1 м^2 , контрольные участки смачивали равным объемом воды. Опыт заложен 23 апреля. После посева температура опускалась до отрицательных значений, что позволило сделать вывод о формировании в поверхностном слое почвы наполненного криогеля.

После закладки эксперимента никаких дополнительных агротехнических мероприятий на опытных площадках (рыхление, полив и т. д.) не проводили. Продолжительность эксперимента составила 130 сут. Повторность измерений в экспериментах трехкратная при постановке трех независимых серий опытов.

В течение вегетационного сезона в почве определяли изменение температуры, численности микрофлоры и каталазной активности. Образцы почвы для лабораторных исследований отбирали по стандартной методике [Воробьева, 2006].

Измерение температуры в почве проводили при помощи электронного термометра Ama digit ad 17th (Германия) с выносным зондом, зонд погружали в почву на глубину 2.5 см, измерения проводили в 8–9 точках контрольных и опытных участков на протяжении всего эксперимента. Измерения проводили в дневное время – с 13 до

15 часов. Показания измерений снимали по практической температурной шкале Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) [Вадюнина, Корчагина, 1986].

Почвенную микрофлору изучали на примере трех основных групп микроорганизмов, участвующих в создании почвенного плодородия: гетеротрофных бактерий (аммонификаторов), учитываемых на мясопептонном агаре (МПА); актиномицетов, учитываемых на крахмалоаммиачном агаре (КАА); микромицетов, учитываемых на среде Чапека. Их численность определяли посевом разведений почвенной взвеси на соответствующие среды и выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) [Filatov et al., 2011]. Количество клеток пересчитывали на грамм почвы с учетом влажности.

Каталазную активность определяли газометрическим методом, основанным на измерении скорости разложения перекиси водорода при ее взаимодействии с почвой. Активность каталазы выражали в миллилитрах кислорода, выделившегося на 1 г почвы за 1 мин [Хазиев, 2005].

В конце эксперимента сравнивали продуктивность опытного и контрольного фитоценозов: срезами надземную часть растений и определяли ее сухую массу гравиметрическим методом после высушивания в шкафу при 60°C до постоянной массы [Blum, 2005].

В конце эксперимента определяли структурность почвы, водопрочность агрегатов, гранулометрический и микроагрегатный составы, угол естественного откоса, содержание углерода.

Для определения структурности из образца почвы, доведенного в лаборатории до воздушно-сухого состояния, отбирали среднюю пробу 1 кг и рассеивали на ситах с диаметром отверстий от 10 до 0.25 мм (сухое просеивание). Каждую фракцию взвешивали и рассчитывали ее процентное содержание.

По данным сухого просеивания рассчитывали коэффициент структурности по формуле

$$K_{\text{стр}} = a/b,$$

где $K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности; a – сумма макроагрегатов размером от 0.25 до 10 мм, %; b – сумма агрегатов менее 0.25 мм и комков более 10 мм, % [Воробьева, 2006].

Определение водопрочности агрегатов почвы проводили методом мокрого просеивания через набор сит с диаметром отверстий от 10 до 0.25 мм. Весовое содержание фракций выражали в процентах.

По результатам сухого и мокрого просеивания рассчитывали критерий водопрочности агрегатов (критерий АФИ) по формуле

$$\text{Критерий АФИ} = C_{\text{вп}}/C \cdot 100,$$

где C – содержание в почве структурных фракций размером от 1 до 0.25 мм, полученных при сухом

просеивании, %; $C_{\text{вп}}$ – содержание водопрочных агрегатов размером от 1 до 0.25 мм, % [Воробьева, 2006].

Гранулометрический и микроагрегатный составы почвы определяли по методам Н.А. Качинского. Подготовку почвы для гранулометрического и микроагрегатного анализов проводили пиррофосфатным методом с различной концентрацией пиррофосфата и разным по силе механическим воздействием [Вадюнина, Корчагина, 1986; Шеин, Карпачевский, 2007].

По результатам анализа гранулометрического и микроагрегатного составов рассчитывали коэффициент дисперсности и степень агрегированности. Коэффициент дисперсности по Качинскому (K_d , %):

$$K_d = I_m/I_r,$$

где I_m, I_r – содержание фракций ила при микроагрегатном и гранулометрическом анализах соответственно.

Степень агрегированности по Бэйверу (A_r , %):

$$A_r = P_m - P_r/P_m,$$

где P_m, P_r – содержание фракций более 0.05 мм при микроагрегатном и гранулометрическом анализах соответственно.

По результатам гранулометрического анализа почвы определяли удельную поверхность почвенных частиц геометрическим методом [Шеин, 2005].

Угол естественного откоса контрольной и криоструктурированной почв определяли в перемешанном состоянии путем медленного снятия пластинки [Вадюнина, Корчагина, 1986].

Содержание углерода в контрольной и криоструктурированной почвах определяли титриметрическим методом по В.И. Тюрину, в основе которого лежит окисление углерода органического вещества почвы дихроматом калия в присутствии серной кислоты. По результатам определения углерода органических соединений рассчитывали содержание гумуса в почве. Для этого величину массовой доли углерода, выраженную в процентах, умножали на коэффициент, равный 1.724 [Воробьева, 2006].

Обработку результатов осуществляли с помощью статистического пакета MS Office Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Противоэрозионная устойчивость почв зависит от ряда их свойств, особенно от водопроницаемости, структурности, водопрочности структуры, которые определяются минералогическим и гранулометрическим составом, а также содержанием гумуса. С повышением содержания илистой фракции и гумуса противоэрозионная устойчивость почв повышается, а высокое содержание фракции крупной пыли (0.05–0.01 мм) значительно понижает водопрочность структуры.

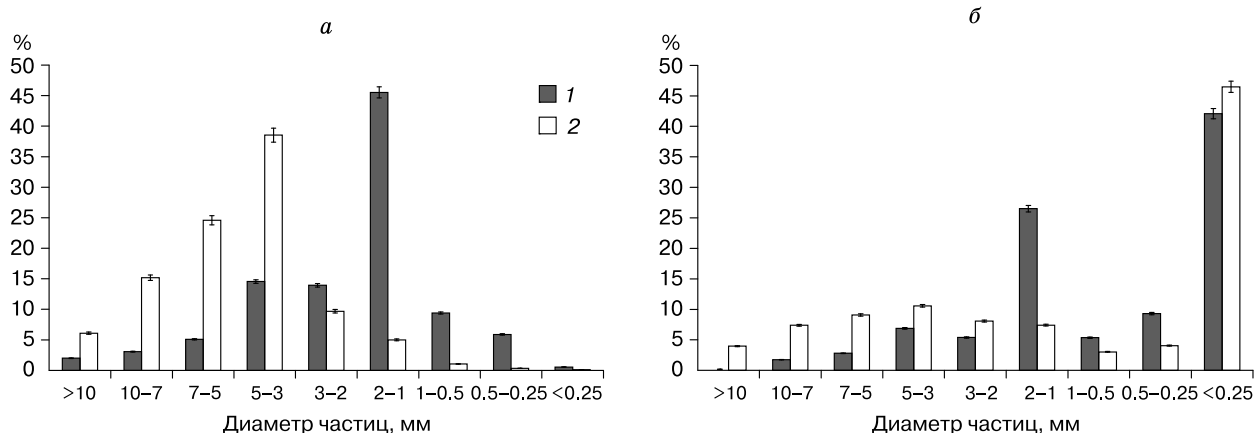


Рис. 1. Результаты анализа структуры контрольной (1) и криоструктурированной (2) почвы:
а – сухое просеивание; *б* – мокрое просеивание.

Кроме того, структура почв является одним из главных факторов ее плодородия. В структурированной почве создаются оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов, что, в свою очередь, обуславливает развитие микробиологической деятельности, мобилизацию и доступность питательных веществ для растений.

Удельная поверхность почвенных частиц в исследуемой почве составила $44 \text{ см}^2/\text{г}$. После криоструктурирования с помощью раствора ПВС в почве увеличилась доля агрегатов всех фракций более 3 мм: >10; 10–7; 7–5 и 5–3 мм (рис. 1). Это, вероятно, явилось следствием агрегирующего действия раствора ПВС на мелкие частицы почвы, которые под влиянием криогеля образовали микроагрегаты, а затем и макроагрегаты.

В естественных условиях в организации микроагрегатов основную связующую роль между пы-

левыми и песчаными элементарными почвенными частицами играет фракция ила, которая обеспечивает прочность и стабильность почвенных агрегатов.

В неструктурированных, подверженных эрозии почвах криогелеобразующий раствор способен организовывать разрозненные частицы: после циклов замораживания–оттаивания склеенные полимерным раствором частицы оказываются встроенными в трехмерную пространственную ячеистую матрицу криогеля, имеющую высокую механическую прочность и водопрочность, что повышает противозерозионную устойчивость почвы.

По результатам фракционирования почвы с помощью сухого и мокрого просеиваний были рассчитаны коэффициент структурности ($K_{\text{стр}}$) и критерий водопрочности (критерий АФИ) агрегатов. Коэффициент $K_{\text{стр}}$ контрольной почвы ра-

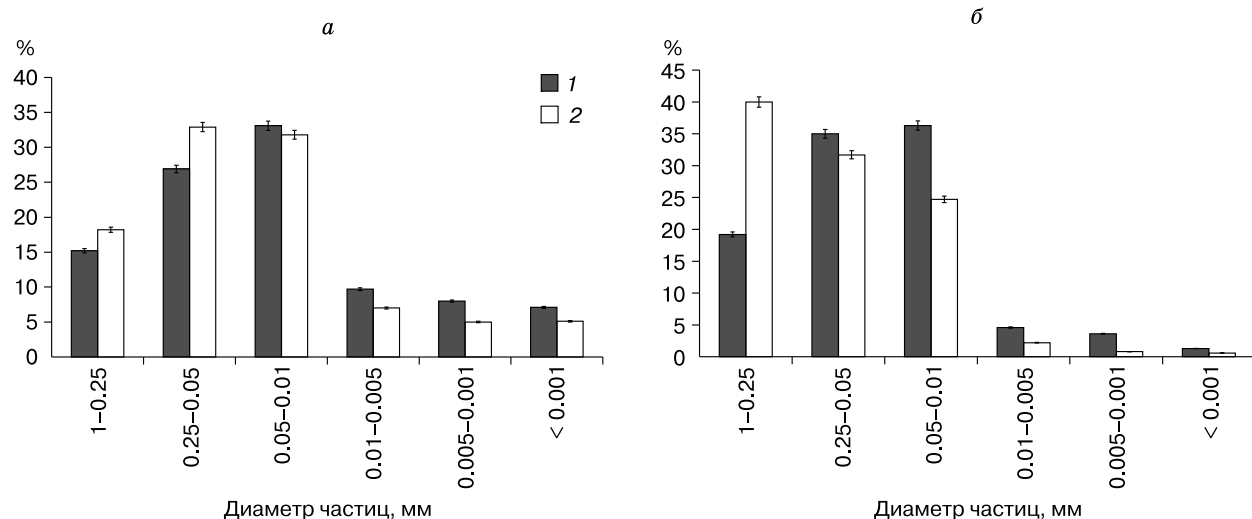


Рис. 2. Результаты анализа гранулометрического (а) и микроагрегатного (б) состава в контрольной (1) и криоструктурированной (2) почвах.

вен (38.2 ± 0.4), криоструктурированной почвы – (15.4 ± 0.3). Происходит это за счет увеличения доли почвенных частиц с диаметром более 10 мм (см. рис. 1, а). И хотя $K_{стр}$ после внесения криогеля снижается в 2.5 раза, т. е. происходит снижение оструктуренности почвы, при этом предотвращаются эрозийные процессы (дефляция, размывание и др.).

Критерий АФИ контрольной почвы без криогеля равен (96 ± 2 %), а в почве с криогелем составил (516 ± 3 %). Таким образом, криоструктурированная почва обладала очень хорошей водопрочностью, у контрольной почвы водопрочность была удовлетворительная. Следовательно, в криоструктурированной почве появляются агрегаты, обладающие соответствующими связями между слагающими агрегат частицами, способные противостоять внешним воздействиям и обеспечивать водостойчивость.

Гранулометрический состав оказывает большое влияние на водно-физические, физико-механические, воздушные, тепловые и другие агрономические свойства почв. При использовании пирофосфатного метода в горизонте А1 опытной почвы наблюдается заметное изменение гранулометрического состава из-за неполного разрушения микроагрегатов: по сравнению с контролем увеличивается содержание песчаных фракций (0.05–1 мм) и уменьшается доля мелкой и средней пыли (0.01–0.001 мм) (рис. 2, а).

По данным микроагрегатного анализа, в почве после криоструктурирования снизилось содержание мелких фракций (до 0.25 мм), а содержание более крупных фракций (0.25–1 мм) возросло (см. рис. 2, б). Коэффициент дисперсности контрольной почвы составил (18.3 ± 0.5 %), опытной почвы – (11.7 ± 0.4 %). Степень агрегированности в контрольной и криоструктурированной почвах равнялась (22.3 ± 0.3) и (28.7 ± 0.5 %) соответственно. То есть опытная почва имела высокую, а контрольная почва хорошую микрооструктуренность. Более высокая степень агрегированности опытной почвы указывает на повышение водопрочности структурных отдельностей в ходе эксперимента.

Показателем эрозийной устойчивости почв является также угол естественного откоса – наибольшая возможная величина угла, который образует с горизонтальной поверхностью устойчивый откос насыпи сухой почвы. Угол естественного откоса зависит от гранулометрического состава и формы частиц. Чем больше угол естественного откоса, тем более устойчива поверхность по отношению к внешним воздействиям. Для контрольной почвы угол естественного откоса составлял 7° , а для обработанной криогелем – 45° (в 6.4 раза больше), как в начале, так и в конце вегетационного сезона (через 130 сут). Таким образом, крио-

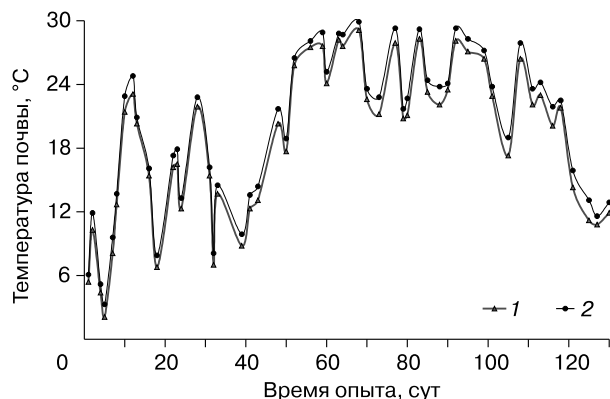


Рис. 3. Изменение температуры в контрольной (1) и криоструктурированной (2) почвах в ходе эксперимента.

структурированная почва обладала большей эрозийной устойчивостью.

Для роста и развития растений одним из важнейших факторов окружающей среды является температурный режим почвы, определяющий интенсивность биологических, химических, физических и биохимических процессов в почве. Температурный режим определяется как внешними условиями (текущей погодой), так и теплофизическими свойствами самой почвы (теплопоглощительной способностью, теплоемкостью и теплопроводностью). Замеры температуры в течение вегетационного сезона в опытной и контрольной почвах показали, что криоструктурирование верхнего почвенного слоя вызывает повышение температуры в дневное время на 0.5 – 1.7°C на глубине 2.5 см (минимальная глубина пропитки верхнего почвенного слоя водным раствором ПВС) (рис. 3).

С активностью почвенной микрофлоры связаны многие процессы, протекающие в почве, в первую очередь круговорот биогенных элементов, трансформация органических и минеральных соединений, синтез ферментов, витаминов, аминокислот, ауксинов и хелатов [Filatov et al., 2011].

Результаты опыта показали, что в криоструктурированной почве численность почвенной микрофлоры возрастает. Ее исходная численность определялась в интервале $0.5 \cdot 10^6$ – $2 \cdot 10^6$ КОЕ/г почвы. В опытном варианте в течение эксперимента численность микроорганизмов превышала контрольные данные в 3–5 раз (рис. 4). Из литературных источников известно, что гели поливинилового спирта биологически инертны и не подвержены деструкции бактериями и ферментами [Коптилова и др., 2011]. Поэтому маловероятно, что поливиниловый спирт в почве послужил питательным субстратом. Скорее, увеличение численности микроорганизмов может быть связано с более интенсивным ростом растений, чьи корневые экссудаты

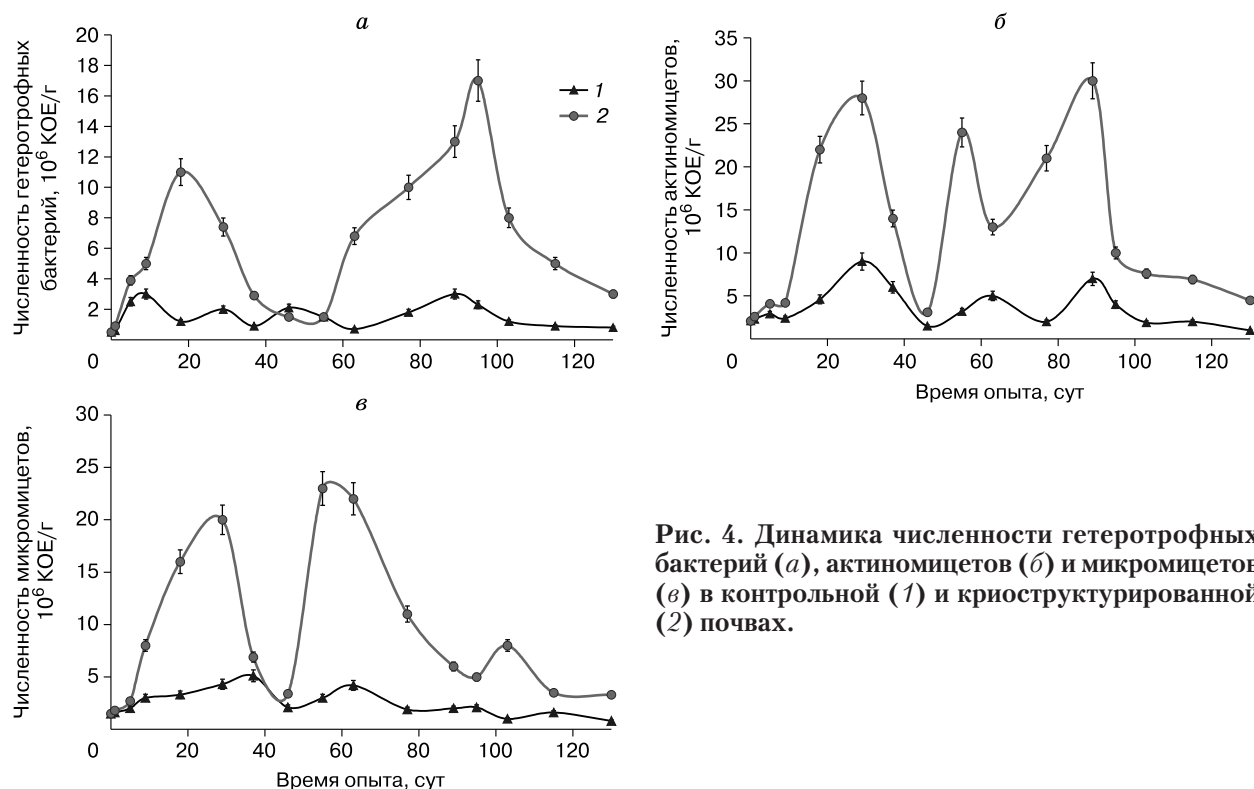


Рис. 4. Динамика численности гетеротрофных бактерий (а), актиномицетов (б) и микромицетов (в) в контрольной (1) и криоструктурированной (2) почвах.

ты они утилизируют. Положительное влияние на почвенную микрофлору также может быть связано с мульчирующим действием полимерной пленки на поверхности почвы, стабилизирующей ее водный и температурный режимы [Altunina et al., 2014].

Исследование ферментативной активности криоструктурированной почвы показало, что активность каталазы на протяжении всего опыта значимо не отличалась от контроля, но в определенные интервалы времени на 4–8 % превышала контрольные данные.

Улучшение экологического фона за счет прекращения ветровой и водной эрозии, стабилизации температурного режима и повышения вододерживающей способности субстрата создает благоприятные условия для вегетации растений. Показано положительное влияние криоструктурирования верхнего почвенного слоя на продуктивность фитоценоза: сухая надземная масса растений в конце вегетационного сезона в контроле составила 4.62 г, в опыте – 5.22 г (выше на 13 %).

Содержание гумусовых веществ в почве является одним из главных показателей плодородия. В конце вегетационного сезона в контрольной почве содержание углерода составляло 3.46 %, в криоструктурированной – 4.06 %. Криогелеобразующий раствор содержит органический полимер, поэтому содержание углерода в опытной почве за вычетом доли, приходящейся на ПВС, составляет 3.76 %, что соответствует содержанию гумуса

6.48 % (в контроле 5.97 %). Это может быть следствием более активного его образования из органических остатков под воздействием почвенной микрофлоры на фоне повышенной продуктивности травостоя либо результатом снижения миграции органоминерального растворимого комплекса вследствие водоизолирующих свойств криогеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что в криоструктурированной почве меняются физические характеристики: в агрегатном составе увеличивается доля фракции более 3 мм, возрастает количество водопрочных агрегатов, снижается коэффициент дисперсности почвы (в контроле $(18.3 \pm 0.5) \%$, в опыте $(11.7 \pm 0.4) \%$) и повышается степень агрегированности (в контроле $(22.3 \pm 0.3) \%$, в опыте $(28.7 \pm 0.5) \%$), угол естественного откоса достигает 45° .

В ходе эксперимента отмечаются изменения функционирования микробного и растительного сообществ: численность микрофлоры в опытной почве на протяжении всего вегетационного сезона превышала контрольные данные в 3–5 раз, продуктивность фитоценоза возросла на 13 %.

Таким образом, криоструктурирование серой лесной почвы положительным образом повлияло на ее эрозионную устойчивость, плодородие, численность микроорганизмов и фитопродуктивность, что может быть использовано для практических целей.

Литература

- Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Долгих С.Н. Криогели для тампонажных работ в районах распространения многолетнемерзлых пород // Гидротехника, 2010, № 3, с. 56–60.
- Алтунина Л.К., Манжай В.Н., Пельтек С.Е. и др. Применение криогелей для стабилизации почв при ветровой эрозии // Пробл. агрохимии и экологии, 2012, № 3, с. 44–47.
- Алтунина Л.К., Манжай В.Н., Фуфаева М.С. и др. Применение криогеля в комплексе с многолетними травами для структурирования почвы // Агрохимия, 2013а, № 11, с. 72–77.
- Алтунина Л.К., Сваровская Л.И., Филатов Д.А. и др. Полевые эксперименты по применению криогелей с целью защиты почв от водной и ветровой эрозии // Пробл. агрохимии и экологии, 2013б, № 2, с. 47–52.
- Алтунина Л.К., Фуфаева М.С., Филатов Д.А., Сваровская Л.И., Ган-Эрдэнэ Т. Применение криогеля для стабилизации почв, подверженных дефляции // Криосфера Земли, 2013в, т. XVII, № 3, с. 83–88.
- Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв и грунтов / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М., Высш. шк., 1986, 416 с.
- Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв / Л.А. Воробьева. М., ГЕОС, 2006, 400 с.
- Добровольский Г.В. Деградация и охрана почв / Г.В. Добровольский. М., Изд-во Моск. ун-та, 2002, 654 с.
- Елисеев А.В. Комплексообразование методов для защиты территории от эрозионных процессов // Пром. и гражданское стр-во, 2007, № 9, с. 48–54.
- Елисеев А.В., Чеверев В.Г. Метод защиты дисперсных грунтов от эрозии // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 3, с. 36–40.
- Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира / В.А. Ковда. М., Наука, 2008, 415 с.
- Копилова О.В., Филатова Н.М., Асулян Л.Д. Полимерная композиция на основе поливинилового спирта для иммобилизации микроорганизмов // Успехи соврем. естествознания, 2011, № 8, с. 44–45.
- Лозинский В.И., Дамшкalin Л.Г., Курочкин И.Н., Курочкин И.И. Изучение криоструктурирования полимерных систем. Физико-химические свойства и морфология криогелей поливинилового спирта, сформированных многократным замораживанием–оттаиванием // Коллоидный журн., 2008, т. 70, № 2, с. 212–222.
- Способ защиты грунтов от эрозии и создание зеленого покрытия: патент 2496588 Рос. Федерация / Л.К. Алтунина, В.Н. Манжай, Л.И. Сваровская, М.С. Фуфаева, Д.А. Филатов; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.
- Шеин Е.В. Курс физики почв / Е.В. Шеин. М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, 432 с.
- Шеин Е.В. Теории и методы физики почв / Е.В. Шеин, Л.О. Карпачевский. М., Гриф и К, 2007, 616 с.
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. М., Наука, 2005, 252 с.
- Altunina L.K., Fufaeva M.S., Filatov D.A. et al. Effect of cryogel on soil properties // Eurasian Soil Science, 2014, vol. 47, No. 5, p. 425–431.
- Altunina L.K., Manzhai B.N., Fufaeva M.S. Mechanical and thermal properties of cryogels and foamed cryogels produced from aqueous solutions of poly (vinyl alcohol) // Russian J. Appl. Chemistry, 2006, vol. 79, No. 10, p. 1669–1672.
- Blum A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? // Aust. J. Agricultural Res., 2005, No. 56, p. 1159–1168.
- Filatov D.A., Ivanov A.A., Svarovskaya L.I., Yudina N.V. Activation of the biochemical processes in an oil-contaminated soil using a light-correcting film and humic acids // Eurasian Soil Science, 2011, vol. 44, No. 2, p. 204–210.
- Gendugov V.M., Glazunov G.P. Unity of mechanisms of water and wind erosion of soils // Eurasian Soil Science, 2009, vol. 42, No. 5, p. 553–560.
- Kretinin V.M. Eroded soils in chelyabinsk oblast // Eurasian Soil Science, 2006, vol. 39, No. 8, p. 885–891.
- Lozinsky V.I. Cryogels on the basis of natural and synthetic polymers: preparation, properties and applications // Russian Chemical Rev., 2002, vol. 71, No. 6, p. 489–511.
- Sokolov M.S., Dorodnykh Y.L., Marchenko A.I. Healthy soil as a necessary condition of human life // Eurasian Soil Science, 2010, vol. 43, No. 7, p. 802–809.

Поступила в редакцию
17 декабря 2014 г.