

БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИОКОНИТОВ ЛЕДНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

© 2021 Е.В. Абакумов¹, Р.Х. Темботов²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург (Россия),

² Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик (Россия)

Поступила 25.02.2021

Аннотация. Криокониты представляют собой тёмный неконсолидированный осадок, который встречается на поверхности ледников в различных регионах Земли. Они играют важную роль в деградации снежного и ледяного покрова полярных регионов и высокогорных ледников. На Центральном Кавказе отмечаются активные процессы дегляциации ледников, происходящие в том числе из-за образования на их поверхности разнообразных криоконитов. Изучены биохимические свойства криоконитов, формирующиеся на поверхностях ледников Гарабаши и Шхельда. Наряду с криоконитами, также изучались приледниковые почвы и селевые отложения в высокогорной части Баксанского ущелья Кабардино-Балкарии (Центральный Кавказ). Полученные данные показали, что криокониты, отобранные с разных ледников, проявляют различную активность ферментов. В пробах, отобранных с ледника Шхельда не проявилась активность изученных ферментов. В отличие от них, в первой пробе криоконита, отобранного с поверхности ледника Гарабаши, выявилась очень слабая активность инвертазы и слабая – каталазы. Во второй пробе, взятой с трещин ледника Гарабаши проявилась высокая активность уреазы, средняя каталазы и очень слабая – дегидрогеназы. Изученные приледниковые почвы проявляют различную активность ферментов. Наибольшую активность ферменты проявляют в поверхностных слоях изученных почв, а вниз по профилю активность снижается. Рассчитанная суммарная относительная ферментативная активность почв показала, что наибольшей активностью обладает горно-луговая, а наименьшей горная лесо-луговая почва. В отобранных с почвоподобных тел пробах, образовавшихся в результате схода сели, также получены различные результаты. В пробе почвы, отобранной под растительным покровом, обнаружилась слабая активность гидролитических ферментов, тогда как в пробе без растительного покрова активность не проявилась ни для одного из изученных ферментов.

Ключевые слова: Центральный Кавказ, криокониты, ледники, ферментативная активность, базальное дыхание, микробная биомасса.

Введение

Криокониты – особые природные структуры, образующиеся на поверхности ледника в каналах протаивания, и включающие в себя как минеральную, так и биологическую составляющую. Термин «криоконит» происходит от греческого «kryos» и «konis», что означает «холодная пыль». Этот термин используется для описания всей

массы нерастворимых примесей, включая дискретные биокосные гранулы. Криокониты могут содержать пылеватые частицы из отдаленных континентальных пустынь или сельскохозяйственных угодий, частицы извержений вулканов или выбросов электростанций, а также сажу от лесных и техногенных пожаров. Они образуются в результате взаимодействия между минеральными частицами, которые присутствуют на ледниках и сложными микробными сообществами, которые развиваются на их поверхности. В составе криоконита, как правило, доминирует минеральный компонент, который составляет около 95% его массы, тогда как фракция остатка состоит из живого и мертвого органического веще-

Абакумов Евгений Васильевич, заведующий кафедрой прикладной экологии, докт. биол. наук, профессор, e_abakumov@mail.ru; *Темботов Рустам Хасанбиевич*, научный сотрудник лаборатории почвенно-экологических исследований, канд. биол. наук, tembotov.rustam@mail.ru

ства, за счет чего он имеет темный цвет (Edwards et al., 2014; Cook et al., 2015). Темный осадок внутри криоконита, чаще всего, имеет низкое альbedo, за счет чего он поглощает солнечную радиацию и вызывает таяние льда под ним, в результате чего образуются цилиндрические отверстия. В местах, где аккумулируется криокониты, формируются так называемые криоконитовые стаканы, в которых складывается особенный микроклимат. В криоконитовых стаканах происходит активное заселение цианобактериями и водорослями, которые обогащают ледово-минеральный субстрат биогенными элементами. Также вместе с мелкоземом на поверхность ледника приносятся остатки мхов, которые в благоприятных условиях возобновляют вегетацию. Благодаря своим свойствам – высокому содержанию биогенных элементов и тонкодисперсности, криоконитовый материал служит уникальной «почвообразующей породой» с благоприятными условиями для поселения высших растений и для почвообразования по сравнению с другими отложениями, формирующимися в современной перегляциальной зоне (Шишков и др., 2016). Таким образом, исследование биохимического состава криоконитов может дать информацию об истории их образования, о процессах трансформации в них неорганического и органического вещества, накоплении и переносе материала, о влиянии дальнего переноса и локальных источников загрязнения на поверхности ледников. Кроме того, криокониты изменяют энергетический баланс и альbedo на снежной и ледяной поверхности, способствуют дальнейшему протавиванию каналов вглубь ледника.

Дегляциация ледников Кавказа, на которую указывают различные авторы (Рототаева, 2003; Золотарев, Харьковец, 2012; Рототаева и др., 2019), является актуальной экологической проблемой региона. Географическое расположение Центрального Кавказа делает это регион, весьма интересным для исследования образовавшихся на их поверхности различных загрязняющих веществ, в том числе криоконитов. Это обусловлено тем, что ледники Центрального Кавказа расположены вблизи промышленных и сельскохозяйственных источников регионального масштаба юга России и ближнего зарубежья, а также на пути переноса воздушных масс из стран Европы и Ближнего Востока, а с другой стороны они достигают высоты более 5000 м, где влияние локальных источников загрязнения крайне незначительно, тогда как воздействие глобального и регионального переноса аэрозолей возрастает (Кутузов и др., 2014). Для высокогорных ледников Кавказа данные о содержании загрязняющих веществ впервые были опубликованы в конце 60-

х годов 20-го века (Davitaya, 1969). В 1970-1990-х годах на ледниках Центрального Кавказа проводились различные исследования уровня загрязненности. Ранее, в снегу, фирне и льдах определялось содержание различных микрочастиц и тяжелых металлов (Залиханов и др., 1992; Рототаева и др., 1999). Исследования показали, что в результате переноса минеральных частиц, на ледниках Кавказа формируются загрязненные горизонты. В работе (Кутузов и др., 2014) показано, что загрязняющие вещества на ледники Центрального Кавказа приносятся из Ближнего Востока, Северной Африки, а также Месопотамии.

Одним из объективных показателей биологической активности почв, отражающих интенсивность и направленность протекающих в ней биохимических процессов, является ферментативная активность – важнейшее свойство, характеризующее не только современное состояние и уровень плодородия почвы, но и ее предшествующую историю и, в определенной степени характеризующее его дальнейшую эволюцию. Различные авторы считают, что содержание гумуса и ферментативная активность, являются наиболее чувствительные и в то же время значительно менее варьирующие по сравнению с микробиологическими и зоологическими показателями (Галстян, 1974; Казеев и др., 2003, 2004). Известно, что при возникновении в почве стрессовой ситуации, биологические показатели изменяются раньше, чем другие почвенные характеристики, например, агрохимические (Лебедева, 1984; Звягинцев, 1989). При оценке биологического состояния почвенного покрова доказал свою эффективность подход, предусматривающий комплексное определение активности почвенных ферментов двух классов: гидролаз (инвертаза, уреазы) и оксидоредуктаз (дегидрогеназа, каталаза). Указанные параметры отражают различные аспекты биологических свойств почвы (генетические, микробиологические, биохимические), а их совокупность позволяет установить общий уровень биологической активности, и выразить его через суммарную относительную ферментативную активность (Казеев и др., 2003; Горобцова и др., 2018). Изучению перечисленных составляющих биологической активности почв посвящены подробные исследования не только Российских, но и зарубежных ученых (Kiss et al., 1986; Bandick, Dick, 1999). В настоящее время, в основном определяют ферментативную активность именно почв, а активность ферментов в криоконитах и почвоподобных телах практически не определяется.

Изучение биологических свойств криоконитов Центрального Кавказа, до настоящего време-

ни не проводилось. Исходя из этого, целью данной работы является изучение биохимических показателей криоконитов, приледниковых почв и селевых отложений Центрального Кавказа (в пределах Баксанского ущелья Кабардино-Балкарии).

Материалы и методы

Район исследования охватывает высокогорную часть Центрального Кавказа в пределах Баксанского ущелья Кабардино-Балкарии (рис. 1). Отбор проб криоконитов проводился с поверх-

ности ледников Шхельда и Гарабаши. Ледник Гарабаши является частью южного склона Эльбрусского ледникового массива. Ледник начинается на высоте около 4900 м над уровнем моря и заканчивается на 3330 м над уровнем моря, а его площадь составляла 3,97 км². Ледник Шхельда расположен в ущелье Адыл-Су к юго-востоку от г. Эльбрус. Он расположен на границе России с Грузией. Ледник простирается с высоты 4100 м над уровнем моря до нижнего уровня 2200 м над уровнем моря, а его площадь составляла около 8 км².

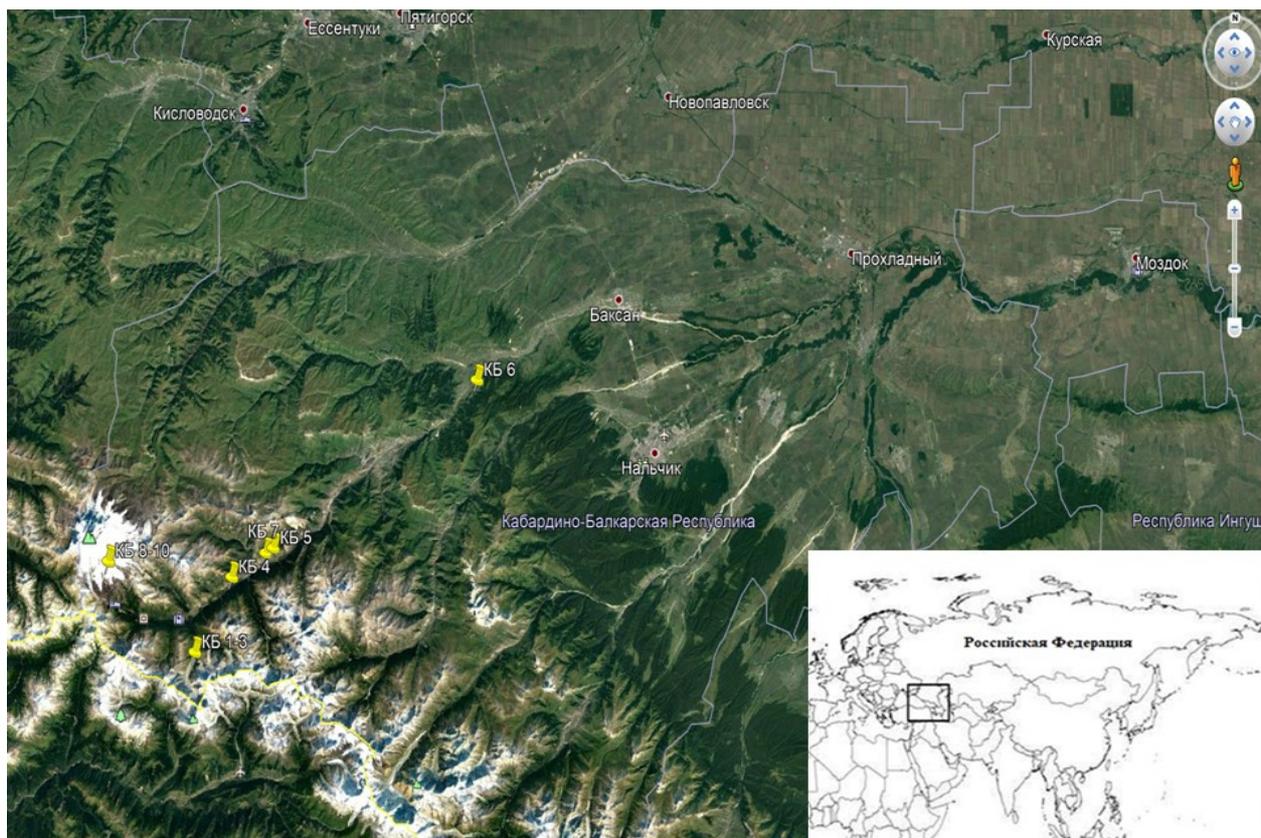


Рис. 1. Места отбора проб.
Fig. 1. Sampling locations.

Верховье Баксанского ущелья характеризуется умеренно-холодным климатом со значительным количеством осадков. Средняя годовая температура составляет 6.3°C, а среднегодовая норма осадков – 869 мм. Август самый жаркий месяц в году, при средней температуре 16.5°C. Январь является самым холодным месяцем, с температурами в среднем -4.2°C. Меньше всего осадков в Январе, в среднем 33 мм, а большее всего выпадает в июне, в среднем 125 мм. Между сухим и дождливым месяцем, разница в осадках составляет 92 мм (Climate-date..., URL).

На леднике Шхельда с двух точек были отобраны пробы с поверхности, а также собраны аллювиальные отложения. Рыхлые отложения раз-

личного генезиса покрывают нижний склон ледника, находящийся в движении из-за дегляциации ледника. Для оценки влияния атмосферного воздействия на образование криоконитов, пробы отбирались на наиболее открытых участках, менее подверженных влиянию морены. На леднике Гарабаши образцы были взяты из ледниковой трещины, с поверхности ледника и моренных отложений.

Пробы почв были отобраны в разных местах верховья Баксанского ущелья, по обоим бортам реки Баксан. Классификационную диагностику исследуемых типов почв осуществляли в соответствии с генетической классификацией почв (Классификация..., 1977). Изученные почвы

представлены горной лесо-луговой и горно-луговой почвами, а также горным черноземом выщелоченным. Также были исследованы отложения, которые были перенесены селевыми потоками, которые произошли в 2019 году. Эти отложения в настоящее время подвержены трансформации под влиянием почвообразовательных

процессов, на них уже появляется растительность.

Образцы представляют собой пробы криоконитов, морен, селей, аллювия и доминирующих типов почв района исследования. Места отбора и описание изученных образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Точки отбора и описание проб
Sampling points and description of samples

Место отбора проб	№ пробы	Описание пробы	Координаты
Ледник Шхельда	КБ 1	Криоконит с поверхности ледника	N 43° 11' 27'' E 42° 38' 45''
	КБ 2	Аллювиальные отложения	
	КБ 3	Криоконит с поверхности ледника	
Ледник Гарабаши	КБ 8	Криоконит из трещины ледника	N 43° 18' 18'' E 42° 27' 49''
	КБ 9	Криоконит с поверхности ледника	
	КБ 10	Моренные отложения	
Правый борт реки Баксан, окрестности п. Нейтрино	КБ 4	Горная лесо-луговая почва	N 43° 17' 21.0'' E 42° 42' 57.9''
Левый борт реки Баксан, окрестности с. Верхний Баксан	КБ 5	Горно-луговая почва	N 43° 19' 44.0'' E 42° 48' 08.8''
Окрестности с. Кенделен	КБ 6	Горный чернозем выщелоченный	N 43° 33' 21.7'' E 43° 13' 40.1''
Правый борт реки Баксан, между с. Верхний Баксан и г. Тырнауз	КБ 7а	Почвоподобное тело, образовавшееся в результате схода селя, без растительности	N 43° 19' 19.2'' E 42° 47' 15.1''
	КБ 7б	Почвоподобное тело, образовавшееся в результате схода селя, с растительным покровом	

Отобранные пробы были высушены и очищены от растительных остатков. Все биохимические показатели были проанализированы с использованием мелкозема, прошедшего через сито 1 мм. Была определена активность ферментов двух классов: окислительно – восстановительные (каталаза и дегидрогеназа) и гидролитические (инвертаза и уреазы). Каталаза – катализирует реакцию разложения перекиси водорода с образованием воды и молекулярного кислорода. Дегидрогеназа – катализируют окислительно-восстановительные реакции путем дегидрирования органических веществ и функционируют как переносчики водорода. Инвертаза – катализирует реакции гидролитического расщепления сахарозы на эквивалентные количества глюкозы и фруктозы, воздействует также на другие углеводы с образованием молекул фруктозы – энергетического продукта для жизнедеятельности микроорганизмов, катализирует фруктозотрансферные реакции. Уреазы – гидролизуют мочевины до аммиака и CO₂, образовавшийся аммиак слу-

жит непосредственным источником азотного питания растений (Галстян, 1974; Хазиев, 1982).

Активность инвертазы, уреазы и дегидрогеназы определяли колориметрически, а каталазы – газометрически по методикам Галстяна в модификации Хазиева (Галстян, 1974; Хазиев, 1982). Контролем при определении активности ферментов служили стерилизованные почвы (180°С, 3 ч). Полученные результаты исследования показателей ферментативной активности оценивали по шкале Гапонюк, Малахова (Гапонюк, Малахов, 1985). Расчет суммарной относительной ферментативной активности проводился по методике (Звягинцев, 1978).

Результаты и обсуждения

Результаты проведенных биохимических исследований криоконитов отобранных с поверхности ледников Шхельда и Гарабаши, а также селевых отложений представлены в табл. 2. Полученные в результате аналитических работ данные показали, что все пробы, отобранные с ледника Шхельда, которые включают одну пробу

аллювия и две пробы криоконитов, не проявляют ферментативную активность. Вероятно, это связано с тем, что в отложениях с песчаным гранулометрическим составом, сформированных в мерзлотных условиях, активность почвенных ферментов практически не проявляется. С этим согласуются и результаты работы других авторов (Брушков и др., 2011). Отличные от этих данные получены с проб, взятых на леднике Гарабаши расположенного на юго-восточном склоне горы Эльбрус. Там, активность ферментов хоть и небольшая, но все же обнаружилась. В пробе криоконита, подстилаемого льдом, выявилась очень слабая активность инвертазы и слабая – катала-

зы. Интересные данные получены со второй пробы криоконита, взятой с трещин ледника Гарабаши. Там проявилась высокая активность уреазы, средняя каталазы и очень слабая – дегидрогеназы. Возможно, это связано с тем, что в трещинах происходят какие-то процессы, влияющие на активность биохимических процессов. Но данное предположение требует дальнейшего исследования. Что касается пробы, отобранной в морене, взятой в нижней части ледника Гарабаши, также, как и в пробах с ледника Шхельда, ферментативная активность полностью отсутствует.

Таблица 2

Ферментативная активность криоконитов и селевых отложений
Enzymatic activity of the cryoconites and mudflows

Проба №	Инвертаза, мг глюкозы/(1 г/24 ч)	Уреазы, мг NH ₃ /(10 г/24 ч)	Каталаза, мл O ₂ /(1 г/1 мин)	Дегидрогеназа, мг ТФФ/(10 г/24 ч)
KB1	-	-	-	-
KB2	-	-	-	-
KB3	-	-	-	-
KB8	-	30,7 высокая	4,0 средняя	0,53 очень слабая
KB9	1,4 очень слабая	-	1,3 слабая	-
KB10	-	-	-	-
KB 7a	-	-	-	-
KB 7b	12,4 слабая	1,6 очень слабая	-	-

Также были отобраны две пробы на месте левого оползня, произошедшего в 2019 г. Первая проба была отобрана на открытой песчаной местности, на которой еще не начались процессы почвообразования. Активность ферментов в этой пробе, не проявилась. Тогда как во второй пробе, отобранной под растительностью, инвертаза показала очень слабую, а каталаза слабую активность. Это связано с тем, что под растительность уже начали происходить различные биохимические процессы, которые проявились в виде активности этих ферментов.

Изученные приледниковые почвы Баксанского ущелья Центрального Кавказа, проявляют различную активность ферментов (табл. 3). Горная лесо-луговая почва в поверхностном слое обладает слабой активностью инвертазы и средней – каталазы. Что касается остальных изученных ферментов (уреазы и дегидрогеназы), то они показали нулевую активность в этой почве. Вниз по профилю горной лесо-луговой почвы активность инвертазы, согласно шкалы (Гапонюк, Малахов, 1985) переходит от слабой до очень сла-

бой, а каталазы от средней до слабой. Можно предположить, что наблюдаемая очень слабая и вообще отсутствующая каталитическая деятельность ферментов в горной лесо-луговой почве, отражает сниженную активность микроорганизмов в виду низких температур в условиях высокогорья, где формируются эти почвы. Это предположение согласуются и с литературными данными (Улигова и др., 2019).

Активность изученных гидролитических ферментов в верхнем слое горно-луговой почвы, соответствует высокому (уреазы) и среднему (инвертаза) уровням. Авторы (Казеев и др., 2004) отмечают, что высокая активность гидролаз в горно-луговых почвах обусловлена ионами H⁺, составляющими до 95% обменной кислотности. Интенсивность оксидаз в поверхностном слое исследуемой почве характеризуют слабая активность каталазы и очень слабая – дегидрогеназы. Инактивация каталазы и дегидрогеназы, очевидно, связана с уровнем кислотности данной почвы. Вниз по профилю гидролитические ферменты горно-луговой почвы резко снижаются и в

нижнем горизонте обладают уже очень слабой активностью. Окислительно-восстановительные ферменты, также теряют активность, а уровень

активности каталазы из слабой переходит к нулевой.

Таблица 3

Ферментативная активность почв
Enzymatic activity of the studied soils

Проба №	Инвертаза, мг глюкозы/(1 г/24 ч)	Уреаза, мг NH ₃ /(10 г/24 ч)	Каталаза, мл O ₂ /(1 г/1 мин)	Дегидрогеназа, мг ТФФ/(10 г/24 ч)
KB4O	10 слабая	-	5.5 средняя	-
KB4AV	8.3 слабая	-	3.0 слабая	-
KB4AC	1.7 очень слабая	3.8 слабая	2.8 слабая	-
KB5AV	24.6 средняя	37.8 высокая	1.6 слабая	2 очень слабая
KB5AC	17.3 средняя	2.8 очень слабая	0.2 очень слабая	0.85 очень слабая
KB5C	4.1 очень слабая	1.1 очень слабая	-	0.69 очень слабая
KB6AU	5.4 слабая	18.6 средняя	3.5 средняя	3.7 слабая
KB6Bi	-	9.6 слабая	1.2 слабая	2.5 очень слабая

В верхнем горизонте горного чернозема выщелоченного проявляется лишь слабая (инвертаза и дегидрогеназа) и средняя активность (уреаза и каталаза) ферментов. Хотя, в проведенной ранее работе (Горобцова и др., 2018), было показано, что активность данных ферментов в этих почвах, значительно выше. Возможно, низкие значения активности ферментов связаны со сроками отбора проб (конец сентября), тогда как в отмеченной выше работе, отбор проводился в июле месяце. Известно, что в следствии снижения температуры, биологические процессы в почве, начинают протекать медленнее (Минникова и др., 2018), что и приводит к разным значениям активности изученных ферментов. В горных черноземах выщелоченных активность изученных ферментов, также как и в других рассмотренных почвах, снижается вниз по профилю. Так активность инвертазы переходит от слабой к нулевой активности, уреазы и каталазы от средней к слабой, а дегидрогеназы от слабой к очень слабой. То, что каталитическая функция ферментов в изученных почвах убывает вниз по

профилю согласуется с данными и других авторов (Даденко и др., 2014; Горобцова и др., 2015).

Для сравнения биологической активности изученных почв, была рассчитана суммарная относительная ферментативная активность почв. На рисунке (Рис. 2) представлена диаграмма показывающая суммарную относительную ферментативную активность поверхностных горизонтов изученных почв. Из диаграммы видно, что наибольшей активностью обладает горно-луговая почва, следом идет горный чернозем выщелоченный и самая низкая активность обнаружена у горной лесо-луговой почвы. Низкий уровень суммарной относительной ферментативной активности горной лесо-луговой почвы объясняется тем, что и уреазы и дегидрогеназа в ней показали нулевую активность. А максимальный уровень активности у горно-луговой почвы, проявился из-за высокого содержания органического вещества в этих почвах. Это согласуется с литературными источниками (Казеев и др., 2004, Горобцова и др., 2015), в которых говорится о тесной корреляция между содержанием гумуса и активностью различных почвенных ферментов.

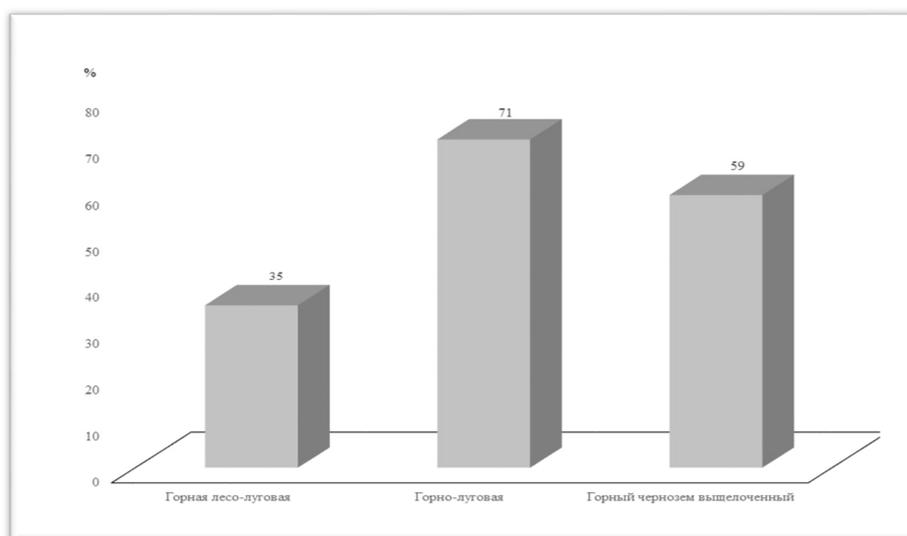


Рис. 2. Общая относительная ферментативная активность изученных почв в поверхностном слое.

Fig. 2. General relative enzymatic activity of the studied soils in the surface layer.

Заклучение

Проведенные биохимические исследования криоконитов, почв и селевых отложений Центрального Кавказа позволили дополнить характеристики почв и криоконитов ледниковых ландшафтов и собственно горных территорий. Установлено, что биологические свойства изученных ледников Центрального Кавказа различаются. В изученных криоконитах и аллювиальных отложениях с ледника Шхельда не обнаружилась активность изученных ферментов. В отличие от них, в первой пробе с ледника Гарабаши проявилась очень слабая активность инвертазы и слабая каталазы. Во второй пробе с этого же ледника, отобранной из трещины, проявились практически все изученные ферменты. Возможно, это связано с происходящими в трещинах процессами, которые влияют на биологическую активность. Также можно предположить, что активность ферментов

проявилась в пробах с ледника Гарабаши из-за интенсивной рекреационной и хозяйственной деятельности человека на ее поверхности и ближайшей окрестности. Тогда как на леднике Шхельда и ее окрестностях, практически никакой деятельности не проводится. Сравнение суммарной относительной ферментативной активности изученных почв показало, что наибольшей биологической активностью обладает горно-луговая, а наименьшей горная лесо-луговая почва. В изученных почвоподобных телах, образовавшиеся в результате схода сели, активность ферментов проявилась только в пробе, отобранной под растительностью.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50107.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список русскоязычной литературы

Брушков А.В., Мельников В.П., Щелчкова М.В., Грива Г.И., Репин В.Е., Бреннер Е.В., Танака М. Биогеохимия мерзлых пород Центральной Якутии // Криосфера Земли. 2011. С. 90-100.

Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.

Гапонюк Э.И., Малахов С.В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: тр. 4-го Всесоюз. совещ. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 3-10.

Горобцова О.Н., Минкина Т.М., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность горных и равнинных чернозёмов Централь-

ного Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии) // Поволжский экологический журнал. 2018. № 2. С. 183-196.

Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий Северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С. 347-359.

Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724-733.

Залиханов М.Ч., Керимов А.М., Степанов Г.В., Черняк М.М. Загрязнение ледников Центрального Кавказа // Материалы гляциологических исследований. 1992. Вып. 75. С. 15-22.

Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 10. С. 44-52.

Звягинцев Д.Г. Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд. МГУ, 1989. 31 с.

Золотарёв Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лёд и Снег. 2012. № 2. С. 15-22.

Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Ростов. гос. ун-та, 2003. 204 с.

Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во «Центры валеологии вузов России», 2004. 350 с.

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 225 с.

Кутузов С.С., Михаленко В.Н., Шахгеданова М., Жино П., Козачек А.В., Лаврентьев И.И., Кудерина Т.М., Попов Г.В. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на Западном плато Эльбруса // Лёд и Снег. 2014. Т. 54, № 3. С. 5-15.

Лебедева Л.А. Минеральные удобрения на дерново-подзолистых почвах. М.: Изд. МГУ, 1984. 100 с.

Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // Агрофизика. 2018. № 1. С. 9-17.

Рототаева О.В., Керимов А.М., Хмелевской И.Ф. Содержание макроэлементов в ледниках южного склона Эльбруса // Материалы гляциологических исследований. 1999. Вып. 87. С. 98-105.

Рототаева О.В., Носенко Г.А., Керимов А.М., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Никитин С.А., Керимов А.А., Тарасова Л.Н. Изменения баланса массы ледника Гарабаши (Эльбрус) на рубеже XX–XXI вв. // Лёд и Снег. 2019. Т. 59, № 1. С. 5-22.

Рототаева О.В., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф., Тарасова Л.Н. Балансовое состояние ледника Гарабаши (Эльбрус) в 80-х и 90-х годах XX столетия // Материалы гляциологических исследований. 2003. Вып. 95. С. 111-121.

Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Горобцова О.Н., Цепкова Н.Л., Рапопорт И.Б., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Луговые биогеоценозы субальпийского пояса Кабардино-Балкарского государственного высшего горного заповедника (Центральный Кавказ) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4, № 2. С. 29-47.

Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.

Шишков В.А., Завовская Э.П., Лебедева М.П., Мергелов Н.С., Долгих А.В. Особенности микростроения почв, развитых на криоконитах в экстремальных условиях зоны отступления ледника Альдегон-

да (Западный Шпицберген) // Морфология почв: от макро- до субмикроруровня. Материалы Всероссийской конференции. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. С. 359-363.

Общий список литературы / Reference List

Brushkov A.V., Melnikov V.P., Shchelchkova M.V., Gri-va G.I., Repin V.E., Brenner E.V., Tanaka M. Biogeochemistry of frozen rocks of Central Yakutia // Cryosphere of the Earth. 2011. P. 90-100. (In Russian).

Galstyan A.Sh. Enzymatic activity of soils in Armenia. Yerevan: Hayastan Publ., 1974. 275 p. (In Russian).

Gaponyuk E.I., Malakhov S.V. Complex system of indicators of soil ecological monitoring. Proc. of 4-th All-Union Conf. Obninsk, 1983. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1985. P. 3-10. (In Russian).

Gorobtsova O.N., Minkina T.M., Uligova T.S., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. Biological activity of mountain and plain chernosem soils in the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) // Povolzhsky ecological journal. 2018. No. 2. P. 183-196. (In Russian).

Gorobtsova O.N., Khezheva F.V., Uligova T.S., Tembotov R.Kh. Ecological and geographical regularities of changes in the biological activity of automorphic soils on the foothills and adjacent plains of the Central Caucasus region (Kabardino-Balkarian Republic) / Eurasian Soil Science. 2015. No. 3. P. 303-313.

Dadenko E.V., Myasnikova M.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. Biological activity of ordinary chernozem during long-term use for arable land // Pochvovedenie. 2014. No. 6. P. 724-733. (In Russian).

Zalikhhanov M.Ch., Kerimov A.M., Stepanov G.V., Chernyak M.M. Pollution of the glaciers of the Central Caucasus // Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. 1992. Iss. 75. P. 15-22. (In Russian).

Zvyagintsev D.G. Soil biological activity and the estimation scales for some indicators // Pochvovedenie. 1978. No. 6. P. 48-54. (In Russian).

Zvyagintsev D.G. Microorganisms and soil protection. Moscow: Moscow State University, 1989. 31 p. (In Russian).

Zolotarev E.A., Kharkovets E.G. Evolution of the Elbrus glaciation after the Little Ice Age // Ice and Snow. 2012. No. 2. P. 15-22. (In Russian).

Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Soil Biological Diagnosis and Indication: Methodology and Methods of Research. Rostov-on-Don: Publishing house of Rostov State University, 2003. 204 p. (In Russian).

Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biology of soils of the Southern Russia. Rostov-on-Don: CVR Higher School Publishing House Publ., 2004. 350 p. (In Russian).

Classification and diagnostics of soils of the USSR. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (In Russian).

Kutuzov S.S., Mikhalenko V.N., Shahgedanova M.V., Ginot P., Kozachek A.V., Kuderina T.M., Lavrentiev I.I., Popov G.V. Ways of far-distance dust transport onto Caucasian glaciers and chemical composition of snow on the Western plateau of Elbrus. Ice and Snow. 2014. V. 54, No. 3. P. 5-15. (In Russian).

Lebedeva L.A. Mineral fertilizers on sod-podzolic soils. Moscow: Moscow State University, 1984. 100 p. (In Russian).

Minnikova T.V., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V., Kolesnikov S.I. Assessment of the relationship between hydrothermal parameters and enzymatic activity of chernozems of the Rostov region using various agricultural technologies // *Agrofizika*. 2018. No. 1. P. 9-17. (In Russian).

Rototaeva O.V., Kerimov A.M., Khmelevskoy I.F. The content of macroelements in the glaciers of the southern slope of Elbrus // *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy*. 1999. Iss. 87. P. 98-105. (In Russian).

Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Kerimov A.M., Kutuzov S.S., Lavrentiev I.I., Nikitin S.A., Kerimov A.A., Tarasova L.N. Changes of the mass balance of the Garabashy Glacier, Mount Elbrus, at the turn of 20th and 21st centuries // *Ice and Snow*. 2019. V. 59, No. 1. P. 5-22. (In Russian).

Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Khmelevskoy I.F., Tarasova L.N. Balance state of the Garabashi glacier (Elbrus) in the 80s and 90s of the XX century // *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy*. 2003. Iss. 95. P. 111-121. (In Russian).

Uligova T.S., Gedgafova F.V., Gorobtsova O.N., Tsepkova N.L., Rapoport I.B., Tembotov R.Kh., Khasunova E.M. Meadow biogeocenoses in the subalpine belt of the Kabardino-Balkaria state high-mountain reserve (Central Caucasus) // *Nature Conservation Research*. 2019. No. 2. P. 29-47. (In Russian).

Khaziev F.Kh. System-Ecological Analysis of Soil Enzymatic Activity. Moscow: Nauka, 1982. 203 p. (In Russian).

Shishkov V.A., Zazovskaya E.P., Lebedeva M.P., Mergelov N.S., Dolgikh A.V. Features of the microstructure of soils developed on cryoconites in the extreme conditions of the retreat zone of the Aldegonda glacier (Western Spitsbergen) / *Materials of the All-Russian conference. Soil morphology: from macro to sub micro level*. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, 2016. P. 359-363. (In Russian).

Bandick A.K., Dick R.P. Field management effects on soil enzyme activities // *Soil Biol. Biochem.* 1999. V. 31. P. 1471-1479.

Cook J., Edwards A., Takeuchi N., Irvine-Fynn T. Cryoconite: the dark biological secret of the cryosphere // *Prog. Phys. Geog.* 2015. V. 40. P. 66-111.

Climate-data Org/. URL: [<https://ru.climate-data.org/>].

Davitaya F.F. Dust content as a factor affecting glaciation and climatic change // *Ann. Assoc. Amer. Geogr.* 1969. V. 59, No. 3. P. 552-560.

Edwards A.E., Irvine-Fynn T., Mitchell A.C. A germ theory for glacial systems // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2014. V. 1(4). P. 331-340.

Kiss S., Dragan-Bularda M., Pasca D. Activity and stability of enzyme molecules following their contact with clay mineral surfaces // *Studie Univ. Babeş Boliaş, Biol.* V. 31, No. 2. 1986. P. 3-24.

THE EFFECT OF LIGHT-ABSORBING PARTICLES ON THE DEGLACIATION OF GLACIERS IN THE POLAR AND MOUNTAINOUS TERRITORIES

© 2021 E.V. Abakumov¹, R.H. Tembotov²

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg (Russia)

² Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of the RAS, Nal'chik (Russia)

Abstract. Cryoconite is determined as dark, unconsolidated sediments that appears on the glaciers surface. They play a role in the degradation of snow and ice cover in polar regions and high mountain glaciers. In the Central Caucasus, there is current active processes of degradation of glaciers mainly due to the presence of cryoconites. The biochemical properties of cryoconites that form on the surface of the Garabashi and Shkhelda glaciers have been studied. Together with the cryoconites studied, selected periglacial soils and mudflows materials in the high-mountainous part of the Baksan Gorge of Kabardino-Balkaria (Central Caucasus) were studied. The data obtained showed that cryoconites, sampled from different glaciers exhibit different levels of enzymatic activities. The samples taken from the Shkhelda glacier did not show evident activity of the studied enzymes. Contrary, in the first sample of cryoconite taken from the surface of the Garabashi glacier, a very low level of invertase activity and a weak catalase activity were revealed. The second sample, taken from the vertical cracks of the Garabashi glacier, showed high activity of urease, medium catalase and very weak – dehydrogenase. The studied periglacial soils exhibit different enzyme activities. The enzymes are most active in the surface layers of the studied soils, and within the vertical profile the activity decreases. The calculated total relative enzymatic activity of the soils showed that the mountain meadow soil has the highest activity, and the mountain forest meadow soil has the least activity. Different results were also obtained in samples taken from soil-like bodies formed as a result of mudflow slope event. In superficially vegetation covered mudflow sample a weak activity of hydrolytic enzymes was found, while in a sample without vegetation, activity was not manifested for any of the studied enzymes.

Key words: Central Caucasus, cryoconites, glaciers, enzymatic activity, basal respiration, microbial biomass.