

УДК 551.324:574.4:551.5(235.222)

Наблюдаемая взаимосвязь экосистемных и климатических процессов на моренах горно-ледникового бассейна Актру

Е.Е. Тимошок, Е.Н. Тимошок, В.В. Давыдов*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634021, Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 17.10.2011 г.

В высокогорьях Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) в разных климатических условиях на молодых моренах бассейна Актру исследованы динамика первичной растительности и формирование первичных почв. В динамическом ряду первичной сукцессии растительности за 150 лет выделено три стадии; установлены их продолжительность и особенности развития первичных сообществ в разных высотных поясах. Рассмотрено формирование почв в суровых условиях приледниковых морен, и выявлено, что изменение пород и стадийное формирование молодых почв происходят по мере развития растительного покрова. Установлено, что за 150 лет пионерная стадия почвообразования заканчивается формированием ювенильных почв. Рассмотрены отдельные аспекты взаимосвязи формирования высокогорной экосистемы и климата.

Ключевые слова: климат, молодые морены, динамика растительности, формирование первичных почв, Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай; *climate, young moraines, vegetation dynamics, forming of primary soils, Severo-Chuisky Range, Central Altai Mountains.*

Введение

Вследствие сокращения ледников Алтая, начавшегося в конце «малой ледниковой эпохи», датированной серединой XIX в. [1, 2], и продолжившегося в условиях глобального потепления климата, к настоящему времени ото льда освободились значительные территории.

Морены ледников — своеобразные ландшафты, образующиеся при их отступании. Они представляют собой несортированные ледниковые отложения, сложенные обломками разной величины — от крупных валунов до мелкого моренного ила, образовавшегося при перетирании обломков ледником.

В целом все процессы, происходящие на моренах ледников, объединены в один крупный процесс высокого уровня (макропроцесс) — процесс коэволюции всей совокупности живого, косного и биокосного вещества в ходе формирования и развития экосистем и ландшафтов. Процесс этот не чисто биологический, но биолого-геологический, в котором четко видна геологическая роль живого вещества, выявленная В.И. Вернадским [3]. В пределах этого макропроцесса выделяются ряд тесно связанных существенных процессов и прежде всего формирование первичной растительности (автотрофного блока экосистемы) — энергетической основы для формирования всех последующих ее уровней, а также — тесно взаимодействующего с ней биокосного тела — почвы,

формирующейся при распаде отмирающих остатков растений, с одной стороны, и являющейся необходимой основой для формирования и развития молодого растительного сообщества — с другой. Изучение этих процессов на датированных молодых моренах современных ледников является «ключом» к пониманию процессов, происходивших на огромных площадях в геологическом прошлом Земли при дегляциации после плейстоценовых оледенений [4], когда отступающие ледники оставляли за собой мертвые валуны, щебень, перетертые камни, а по их следу наступала Жизнь.

В настоящее время молодые морены ледников, расположенные на разных абсолютных высотах, представляют собой уникальную природную лабораторию для исследования существенных процессов эволюции растительных сообществ, почв и экосистем, а также широкие возможности для их мониторинга. В данной статье на примере модельных молодых морен двух долинных ледников бассейна Актру, расположенных в разных климатических условиях, рассмотрены два важнейших процесса: эволюции растительного сообщества и почвы, а также некоторые аспекты самого макропроцесса — развития высокогорной экосистемы. Результаты этого макропроцесса во многом предопределены прежде всего локальным климатом, проявляющимся в виде климатического режима наземной экосистемы, и субстратом, на котором идет ее формирование. Роль климата, в первую очередь температур, продолжительности вегетационного периода, увлажнения и континентальности, является ведущей в формировании автотрофного блока экосистемы [5], что подтверждается самим фактом существования высотной поясности в горах.

* Елена Евгеньевна Тимошок (timoshokee@mail.ru); Евгений Николаевич Тимошок (ten80@mail.ru); Виктор Владимирович Давыдов.

Краткая характеристика района исследований

Горно-ледниковый бассейн Актру расположен на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта, в самой высокой его части – горном узле Биш-Иирду (рисунок, цв. вклейка). Бассейн представляет собой типичный результат крупномасштабной ледниковой разработки рельефа с характерной тенденцией к общей циркулярной форме, крутыми склонами и выположенным дном на сниженных уровнях около 2200–2400 м [6, 7]. Он окружен гребнями гор с абсолютными высотами 3600–4050 м над ур. м. на юге. Общая площадь ледников составляет около 17 км².

В целом климат бассейна, как и климат Центрального Алтая, характеризуется чертами западно-сибирского циклонического типа [7]. Одним из основных факторов, обуславливающих его особенности, является западный перенос воздушных масс. При подходе к Алтаю циклоны меняют направление движения с западного на северо-западное и способствуют увлажнению горных цепей. Высокие хребты Центрального Алтая, в том числе и Северо-Чуйский, являющиеся центрами современного оледенения, – это мощные конденсаторы влаги.

Особенности климата горно-ледникового бассейна Актру могут быть охарактеризованы по данным столь редких для высокогорий Алтая более чем 50-летних метеонаблюдений, проводившихся сотрудниками лаборатории гляциоклиматологии Томского государственного университета с 1956 г. [8, 9] и Государственной метеостанции (ГМС) Актру (2150 м над ур. м.).

Климат бассейна Актру характеризуется высоким уровнем солнечной радиации (975–1045 Вт/м²), низкими среднегодовой (–5,2 °С) и среднелетней (+8,7 °С) температурами. По данным инструментальных наблюдений ГМС Актру, здесь выпадает в среднем 521 мм осадков в год, по данным гидрологического контроля стока ледников – до 1000 мм в год [9]. Имеют место значительные колебания количества годовых осадков. По данным ГМС Актру, в наиболее сухой год (1974) сумма осадков составила около 380 мм, в наиболее влажные годы (1958, 1973, 1991) – более 750 мм. Для бассейна характерны короткий вегетационный период: снеготаяние начинается в середине мая, переход среднесуточной температуры через 0 °С отмечается в середине мая и в начале сентября, и высокие амплитуды колебаний суточных температур (до 15–20 °С). Число дней со среднесуточной температурой выше +5 °С в разные годы сильно варьирует, в среднем составляет около 50 дней, выше +10 °С – около 30 дней. В течение всего лета возможны заморозки (в июне и августе они особенно часты) и снегопады. В течение всего года преобладают долинныи ветры южного и юго-западного направления – сверху вниз по долине, выражены горно-долинная циркуляция ветров и склоновые ветры [10, 11].

По мнению классика отечественной гляциоклиматологии М.В. Тронева [8], климатические условия оледенения в горном узле Биш-Иирду и преже-

де всего в бассейне Актру приближены к средним значениям для Алтая. Климатическая репрезентативность этого района подтверждена многочисленными экспериментальными данными [9, 11].

Многолетние исследования динамики климата и ледников Актру [6, 12–14] позволили установить, что в начале нашей эры в долину спускался один крупный ледник Актру, который около 1000 лет назад распался на два ледника: Большой и Малый Актру. В период малой ледниковой эпохи, в периоды похолоданий климата выявлено три примерно равномасштабных наступания этих ледников в первой половине XVI в.; конце XVII – начале XVIII вв.; конце XVIII – середине XIX вв. Их отступление происходило в периоды повышения температур в середине XVIII в. и на всем протяжении XX в.; этот процесс активно продолжается и в настоящее время.

Ледник Малый Актру максимального развития достиг в середине XIX в., когда он оканчивался на высоте 2200 м и его длина составляла 4,8 км. Это положение хорошо зафиксировано высоким конечно-моренным валом [12]. В последующие 150 лет происходило сокращение размеров ледника: к 2002 г. он отступил на 714 м [15], к настоящему времени – более чем на 800 м. Молодые морены этого ледника спускаются в верхнюю часть горно-лесного пояса и окружены разнообразными растительными сообществами (леса, петрофитные сообщества на скалах, каменистых россыпях). В рельефе представлены осцилляционные морены, выровненные участки, мезопонижения, склоны разной крутизны, с различным гранулометрическим составом моренных отложений (крупно-, средне- мелкокаменистые, мелкоземистые).

Максимальное наступание ледника Большой Актру отмечено в XVII в. [12], после которого его энергия постепенно угасала. В период похолодания (начало и середина XIX в.) этот ледник не достиг размеров ледника XVII в. В 60-е гг. XX в. Большой Актру разделился на два самостоятельных ледника – Левый и Правый Актру. Молодые морены Большого, Левого и Правого Актру расположены выше горно-лесного пояса, на 200 м (по абсолютной высоте) выше морен Малого Актру, окружены петрофитными сообществами на скалах и каменистых склонах. В рельефе преобладают высокие моренные валы и холмы, сложенные преимущественно глыбовым, крупно- и среднекаменистым материалом, подвижным на склонах валов и холмов. Выровненные участки с мелкоземом занимают небольшие площади. Морены Левого и Правого Актру сложены преимущественно крупнокаменистым и щебнистым обломочным материалом.

Учитывая климатическую репрезентативность горно-ледникового бассейна Актру [9–11], можно сказать, что в целом характер формирования первичной растительности и почв в этом бассейне является типичным для Алтая.

Методы исследований

Первичные сукцессии растительности изучались в 2000–2011 гг. на разновозрастных молодых моренах долинных ледников Малый Актру (основной

гляциологический репер Алтая) и Большой Актру, с учетом датировок их возраста, полученных в ходе многолетних исследований томских ученых [6, 10, 12, 13, 15]. При исследовании динамики первичной растительности на разновозрастных моренах применялись общепринятые геоботанические методы с учетом методических дополнений В.Д. Александровой [16] по изучению смен растительности.

В зависимости от полноты имеющихся абсолютных датировок обследованные молодые морены, начиная от современных языков ледников, разделялись на 10–19 фрагментов. В выделенных фрагментах тщательно выявляли виды сосудистых растений и мхов, проводили детальные описания первичной растительности. Для детального изучения особенностей формирования почв и скорости формирования почвенных горизонтов на выровненных участках заложены пробные площади (ПП) на моренах, отложенных от 4–10 до 100–150 лет назад: ПП 1 – в 60 м от ледника (морены, отложенные 4–10 лет назад); ПП 2 – в 120 м от ледника (14–19 лет назад); ПП 3 – в 330 м от ледника (60–65 лет назад), ПП 4 – в 470 м от ледника (более 100 лет назад).

Развитие растительных сообществ на моренах бассейна Актру

Как показывают наши многолетние исследования [17, 18], проведенные на моренах бассейна Актру, формирование первичной растительности начинается практически сразу после того, как отступающий ледник оставляет после себя фрагмент отложенной морены – некоторое количество обломочного материала.

На моренах ледника Малый Актру, спускающихся в верхнюю часть горно-лесного пояса, имеют место несколько вариантов сукцессионного процесса, образующих ряд хронологических последовательностей, характерных для различных элементов моренного рельефа.

Наиболее репрезентативный вариант представлен на пологих участках нижней части левой боковой морены, где наблюдаемая первичная сукцессия включает три стадии: пионерную, разнотравно-мохово-ивовую и разнотравно-мохово-ивово-березковую.

В начале первой, *пионерной, стадии*, начинающейся практически сразу после дегляциации, на моренах еще нет почвы как таковой, однако пионерные виды – в первую очередь невысокие многолетние травы (*Crepis karelinii*, *Draba cana*, *Poa glauca*, *Trisetum mongolicum* и др.), успешно выживают, цветут и плодоносят. Однако поселение их носит случайный характер, распространены они, как правило, единично, главным образом на щебнистых и мелкоземистых участках. Общее проективное покрытие (площадь, занятая растениями) в начале стадии не превышает 1–3%, к ее концу достигает 10%. Ежегодно надземная часть трав отмирает, и из их остатков возникает первый гумус: основное питательное вещество, необходимое для растений. К концу первой стадии на морене не только селятся, но

и начинают цвести и плодоносить, а также вегетативно разрастаться кустарники и кустарнички, в первую очередь ивы (*Salix saposchnikovii*, *Salix hastata*, *Salix glauca* и др.).

Примерно через 30 лет после начала первичной сукцессии пионерная стадия заканчивается и начинается *вторая стадия – разнотравно-мохово-ивовая*. В ходе этой стадии появляются первичные микрогруппировки – первоначальные ячейки будущего растительного сообщества – не отдельные растения, а небольшие пятна, включающие несколько видов, возникающие в первую очередь в понижениях рельефа с мелкоземистым субстратом. Для морен Малого Актру отмечены два основных типа микрогруппировок. В первом типе их основу составляют довольно крупные генеративные особи мирикарии даурской (*Miricaria dahurica*), под пологом которых формируется моховой покров. Основу второго типа микрогруппировок составляют разные виды ив (в первую очередь указанные для конца пионерной стадии), под пологом которых разрастаются мхи и травы. Среди них присутствуют характерные для пионерной стадии асоциальные виды и первые социальные виды, способные выживать в многовидовом сообществе (таежные травы). Для этой стадии, длящейся около 60 лет, характерен быстрый рост проективного покрытия. В середине и конце стадии (примерно через 60–80 лет после дегляциации) микрогруппировки сливаются в обширные полосы и пятна, проективное покрытие достигает 50–60%. Под защитой разросшихся кустарников поселяются новые социальные травы и разрастаются мхи. Разрастание кустарников, служащих своеобразной защитой, и развитие почвы приводят к тому, что на морене начинают селиться более требовательные кустарники, такие как *Betula rotundifolia*, а также жизнеспособные особи кедра (*Pinus sibirica*) и лиственницы (*Larix sibirica*).

Третья, разнотравно-мохово-ивово-березковая стадия отмечена на моренах, отложенных 100–150 лет назад. В климатических условиях, свойственных верхней части горно-лесного пояса, на этой стадии постепенно формируется разреженный древесный ярус из разновозрастных особей лиственницы и кедра. Для этого периода характерно активное формирование почв, пригодных для развития полноценного лесного сообщества. Кустарниковые ивы отчасти вытесняются, отчасти начинают сосуществовать с другим кустарником – березкой круглолистной (*Betula rotundifolia*). Темпы роста проективного покрытия вновь снижаются: растения медленно расселяются на ранее непригодные для жизни места, такие как среднекаменистые участки. При этом проективное покрытие, в основном за счет кустарников, достигает 80%. Под кустарниками, на молодой почве, разрастаются мхи, появляются типичные лесные травы (*Pyrola rotundifolia*, *Orthilla obtusata* и др.).

Возраст около 150 лет является предельным для молодых морен Малого Актру, поскольку отступление ледника началось в середине XIX в. Однако сукцессионный процесс на этом, естественно, не заканчивается – растительное сообщество неизбежно

продолжит меняться. Можно предположить, что при отсутствии катастрофических изменений климата древесный ярус будет развиваться. На каком-то этапе его разрастания заросли кустарника *Betula rotundifolia* в значительной степени сократятся в размерах (вероятно из-за того, что развивающийся древесный ярус создаст для этого вида слишком сильное затенение), на их месте начнут активно размножаться лесные травы и кустарнички, и молодое лесное сообщество достигнет устойчивого состояния.

Другие варианты хронологических последовательностей, наблюдаемые на осцилляционных моренах, невысоких моренных холмах и крутых склонах боковых морен, характеризуются более низкими темпами роста проективного покрытия, несколько отличающейся первичной растительностью. Однако в целом эти варианты можно считать сходными и сопоставленными с описанным выше вариантом первичной сукцессии.

Процессы формирования первичной растительности на моренах Большого Актру в целом носят сходный характер. Однако большая высота расположения морен (2370–2500 м над ур. м. против 2200–2250 м у морен Малого Актру) и, соответственно, более суровые климатические условия, прежде всего более низкие температуры (примерно на 1,5° ниже), менее пригодный для заселения (крупнообломочный и глыбовый) гранулометрический состав моренных отложений обуславливают наличие существенных отличий. Так, свободные от глыб и крупных обломков выровненные участки с достаточным количеством пригодного для заселения растениями субстрата (мелкозема) здесь довольно редки; кроме того, освобождающиеся ото льда участки отделены от источников расселения существенными пространствами и барьерами, такими как высокие моренные валы XVII и XIX вв., что усложняет занос семян и спор, вследствие чего время начала сукцессии носит стохастический характер. Это обуславливает высокую фрагментированность и мозаичность первичной растительности молодых морен этого ледника и более низкую скорость первичной сукцессии.

В целом первичная сукцессия на моренах этого ледника также идет в три стадии. Однако вторая и третья стадии существенно отличаются от описанных выше стадий на моренах Малого Актру.

Пионерная стадия, представленная на моренах Левого и Правого Актру, также начинается с поселения пионерных трав, в основном тех же, что и на этой стадии на моренах Малого Актру. Стадия также продолжается около 30 лет, однако проективное покрытие увеличивается существенно медленнее и, благодаря более холодному климату и менее пригодному (крупнокаменистому) субстрату, к концу стадии достигает немногим более 1%.

Вторая стадия, в отличие от таковой на моренах Малого Актру, — разнотравно-ивовая. В первичных микрогруппировках преобладают ивы (доминируют *Salix saposhnikovii* и *S. coesia*), под пологом которых разрастаются пятна мхов небольших размеров. В их составе пионерные травы: *Chamae-*

nerion latifolium, *Campanula rotundifolia*, *Erigeron eriocalix*, *Silene chamarensis*, встречаются разреженно. Микрогруппировки развиваются несколько медленнее и играют в первичном растительном покрове менее значимую роль. Суммарное проективное покрытие достигает лишь 10%.

Третья, кустарничково-разнотравно-ивовая, стадия на моренах Большого Актру, по вышеуказанным причинам представлена в виде отдельных фрагментов, приуроченных к пониженным пологим участкам между высокими моренными холмами. Из деревьев здесь присутствуют единичные низкорослые лиственницы и крайне редкие кедры, лишь незначительно возвышающиеся над кустарниковыми ивами и не образующие древесного яруса. Негустой кустарниковый ярус формируют преимущественно те же ивы, что и на моренах Малого Актру. В травяно-кустарничковом ярусе заметное участие принимают *Carex sempervirens* и *Dryas oxyodonta*, в меньшей степени — стелющиеся ивы. Небольшие пятна мхов отмечены только под угнетенными деревьями и зарослями ив.

Наличие в горно-ледниковом бассейне Актру двух долинных ледников, расположенных на разных абсолютных высотах и в разных климатических условиях, дает возможность наблюдать различные варианты первичной сукцессии. Однако даже те сообщества, которые к настоящему времени сформировались на ее последней стадии, на моренах, отложенных 100–150 лет назад, к настоящему времени не достигли устойчивого состояния и продолжают меняться.

Конечным итогом долговременных изменений первичной растительности на моренах является растительное сообщество климатического типа — устойчивое сообщество, соответствующее условиям данного региона, включая климатические условия. Подобное сообщество может оставаться неизменным до тех пор, пока изменения внешних условий (и прежде всего климата) не превысят некоторого порога, либо оно не будет уничтожено какой-либо природной или антропогенной катастрофой. Темпы развития сообществ климатического типа различны — устойчивые сообщества могут формироваться за сотни или тысячи лет [19].

В климатических условиях верхней части горно-лесного пояса Северо-Чуйского хребта таким типом сообщества является кедровый ерниково-мохово-лишайниковый лес [20], доказательством устойчивого состояния которого и соответствия условиям среды является наличие здесь деревьев кедра сибирского возрастом более 500 лет [21]. Сукцессионные процессы, протекающие на молодых моренах Малого Актру, расположенных в верхней части горно-лесного пояса, направлены на достижение именно подобного растительного сообщества. Итогом развития первичной растительности на моренах Большого Актру, расположенных в климатических условиях лесотундрового экотона, будет сообщество климатического типа, характерное для этого высотного пояса, — ерник (заросли *Betula rotundifolia*) с группами и единичными деревьями кедра и лиственницы.

Процессы развития почв на моренах ледников Актру

Почвы являются важнейшей составляющей экосистемы и развиваются на молодых моренах в тесной взаимосвязи с первичной растительностью. Формирующиеся из органических остатков питательные вещества необходимы для жизни растений — основы автотрофного блока экосистемы, питающего гетеротрофный блок, основой которого являются травоядные и хищные животные. Однако опад, а также остатки отмерших растений и погибших животных становятся основой для питательных веществ, которые в будущем будут питать животных и растения.

Отступающий ледник оставляет за собой каменистый субстрат, собственно слагающий отложенную морену. На моренах ледника Малый Актру он представлен грубообломочным материалом (валунами, щебнем, хрящом до 10 см), а также мелкоземом [22]. На моренах ледника Большой Актру преобладает более крупный моренный субстрат (глыбы, валуны, крупные камни). Моренные отложения не являются почвой (в них отсутствуют органические вещества, сосредоточенные в наиболее необходимом для жизни растений органогенном горизонте).

Для раннего этапа развития почв на моренах Малого Актру характерны активизация процессов физического выветривания, дезинтеграции крупных обломков, вынос мелкозема с тальми водами. С поселением пионерной растительности начинается процесс скрытого почвообразования: выщелачивание карбонатов, накопление богатого азотом органического вещества, необходимого для растений, перераспределение продуктов биогенеза.

Накопление органики и формирование почвенных горизонтов идет медленно. Органогенный горизонт невысокой мощности (около 3 см) формируется только к середине второй стадии сукцессии растительности на моренах, отложенных около 60 лет назад. Условием формирования подобной молодой почвы является активное разрастание кустарников, трав и мхов.

Дальнейшее развитие почв тесно связано с развитием растительного сообщества. На третьей стадии сукцессии, под влиянием сформировавшейся растительности с выраженным древесным, хорошо развитым кустарниковым и моховым ярусами, на еще не протаявших до конца моренах, отложенных более 100 лет назад, формируется слабо дифференцированный на генетические горизонты профиль почвы, которую можно отнести как к слаборазвитому подбур, так и к слаборазвитому криозему.

Однако, как и в случае с растительностью, зафиксированное состояние первичного почвенного покрова не является предельным. Почва на этом этапе все еще продолжает развиваться, и к 300–500 годам на хорошо дренированных и прогреваемых участках сформировается подбур, а на переувлажненных — покрытый моховым покровом криозем.

Процесс развития почв на моренах ледника Большой Актру может быть охарактеризован как сходный

и сонаправленный. Однако преобладание крупного моренного материала существенно замедляет процессы физического выветривания, характерные для ранних стадий развития почвы, а также делает невозможным поселение первичной растительности на многих участках. Вследствие этого ранние стадии почвообразовательного процесса существенно замедляются. Как результат, для первичных почв морен Большого Актру характерны такие же мозаичность и разновозрастность, как и для первичного растительного покрова.

Таким образом, постепенно совместное воздействие совокупности абиотических (выветривание, вымывание мелкозема, разложение органики под действием абиотических факторов, химические процессы гумусообразования и т.д.) и биотических (разложение растительной органики при участии различных организмов, деятельность почвенной биоты и т.д.) факторов на моренах ледников Актру приводит к появлению слабоструктурированных молодых почв, их развитию, формированию почвенных горизонтов и, наконец, к формированию зональных почв, т.е. почв, в максимальной степени соответствующих климату, на которых развиты сообщества климатического типа, в том числе климаксовые. Зональными почвами верхней части горно-лесного пояса Северо-Чуйского хребта являются горно-таежные мерзлотные криоземы и подбуры [22].

Некоторые общие аспекты развития высокогорной экосистемы

Таким образом, подводя некоторый итог всему вышесказанному, можно описать общие контуры макропроцесса — развития высокогорной экосистемы в целом. Естественно, что сам этот процесс включает не только основные процессы, рассмотренные в предыдущих разделах, но и ряд менее существенных, но тем не менее важных процессов.

По определению Ю. Одума [23], экосистема — единство, включающее все организмы на данном участке и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ (обмен веществами и энергией между биотической и абиотической частями) внутри системы. В состав экосистемы [23] входят: неорганические вещества абиотической части, включенные в круговороты, в том числе и внутренние; органические вещества, содержащиеся в первую очередь в почве и осуществляющие связь биотической и абиотической ее частей; воздушная; водная и субстратная среда; климатический режим, определяемый во многом локальным климатом, а также живые организмы — автотрофы (в наземных экосистемах — растения, усваивающие энергию Солнца и обеспечивающие ее поступление в экосистему); фаготрофы (травоядные животные, питающиеся автотрофами) и хищные животные (питающиеся фаготрофами), а также сапротрофы (организмы, питающиеся отмершими остатками различных живых организмов),

которые возвращают в круговорот вещества, ранее сконцентрированные в живом веществе.

Органические и неорганические вещества связаны в местный круговорот; все, что изымается из почвы растениями, а потом частично переходит в организмы животных, с разложением возвращается обратно в почву. Кроме того, система участвует в биологическом круговороте атмосферного кислорода и влаги. Изымающийся из атмосферы углерод, входящий в состав углекислого газа, входит в молекулярные структуры растений, фиксируется и, вероятно, переходит в тело животных, частично возвращаясь в атмосферу при дыхании, частично при разложении растительных и животных остатков.

Рассмотрим процессы, идущие в ходе сукцессии на молодых моренах, по компонентам.

Сукцессионные процессы приводят к тому, что все большее число неорганических веществ изымается из почвы и атмосферы, растет общий объем дыхания (поглощения из атмосферы O_2 и выделения в нее CO_2) и фотосинтеза (процесса поглощения CO_2 и выделения O_2); в процессе формирования почвы азотфиксирующие бактерии фиксируют все большее количество атмосферного азота, все большая часть материнской породы вовлекается в процесс почвообразования. В результате большинство неорганических веществ почвы переводится в усвояемую растениями форму, чаще всего в состав органических веществ. По достижении системой устойчивого состояния, т.е. сообщества климатического типа на почве климатического типа, объем местных круговоротов веществ достигает максимума и остается практически неизменным (без учета, естественно, различных кратковременных флуктуаций). Как результат — само изъятие веществ из субстрата сокращается: практически все питательные вещества, микро- и макроэлементы, необходимые сообществу, уже вовлечены в круговорот и его расширения не происходит. Запас органических веществ постоянно растет — они входят во все больший объем биомассы растений и животных, все больший объем биомассы разлагается после отмирания и, разлагаясь, насыщает почву органическими веществами, необходимыми для будущих поколений. К определенному моменту при накоплении нужного количества органических веществ их круговорот стабилизируется. С увеличением запасов органических веществ растет и способность системы к поддержанию растительного сообщества — более богатая органикой почва способна поддерживать растительность с большей биомассой.

Водный режим также меняется: развитие почвы (включая накопление органических веществ), корневых систем растений, а также нижних горизонтов почвы приводит к тому, что уменьшается дренированность и возрастает влагоемкость почвы, т.е. она приобретает способность накапливать влагу. При этом в случае формирования подбуря происходит дотаивание мерзлоты, за счет чего сток меняется с поверхностного на внутрипочвенный [24], и как результат в растительном сообществе возникает возможность распространения горных трав.

При формировании криозема мерзлота не дотаивает, в результате в почве начинает накапливать-

ся вода, что создает хорошие условия для поселения мхов. В любом случае на участках с развитой растительностью изменяется испарение влаги — вместо стока она транспирируется растениями. Кроме того, сформировавшийся растительный покров начинает перехватывать осадки, в результате они не достигают поверхности и испаряются с поверхности растений. Так, в сформированном кустарничково-зеленомошно-разнотравном лесу на юго-восточном склоне бассейна на объем перехвата и транспирации приходится 33% расходной части водного баланса, при этом суммарный объем испаряемой и перехватываемой влаги превышает почвенное испарение в 1,5 раза [24].

С развитием растительности сообщество начинает также менять и воздушный режим — наличие даже кустарников неизбежно снижает скорость ветра, и как следствие — темпы ветровой эрозии в приземном слое. Таким образом, развившиеся кустарники, меняя ветровой режим, защищают молодую почву. С развитием лесного сообщества этот эффект проявится еще более четко.

Изменение субстратной среды тесно связано с выветриванием, развитием почв, вовлечением неорганики в круговороты, накоплением органического вещества — каменные участки превращаются в участки, покрытые почвой, мощность которой со временем растет.

Климатические эффекты проявляются на нескольких уровнях. Внутри системы начинает формироваться собственный микроклимат. Уже на второй стадии сукцессии под покровом разросшихся кустарников появляются участки с менее подвижным, более влажным воздухом, более прохладные благодаря отражению надземными частями кустарников прямых солнечных лучей. Позднее, с развитием густого кустарникового яруса, микроклимат еще более меняется. В будущем к тому моменту, когда на молодых моренах сформируется лесное сообщество, микроклимат под его пологом приобретет еще больше черт лесного микроклимата.

Влияние молодого сообщества на локальный климат в целом невелико, однако все-таки присутствует. Сообщество фиксирует некоторое количество углекислого газа, увеличивает возвращение дождевой влаги в атмосферу за счет транспирации, его альbedo постепенно меняется (как правило, существенно понижается) [25]. Масштабы влияния отдельно взятого сообщества малы, и оно не в состоянии оказывать каких-либо существенных воздействий, однако формирование новых сообществ на значительных площадях, освободившихся ото льда, способно повлиять как минимум на локальный климат — циркуляцию, конвекцию и ветры.

В биотической части экосистемы, на молодых моренах ледников Актру, на протяжении всей первичной сукцессии идут процессы постепенного роста, основные тренды которых были прекрасно сформулированы Ю. Одумом [23]. В их числе: непрерывное возрастание биомассы до достижения некоторого, определяемого условиями, в том числе климатическими, максимума; изменение видового состава сообщества в ходе сукцессии [18], в ходе этой смены

возрастает число видов растений и животных, входящих в экосистему; в составе растительности виды с *r*-стратегией (быстро и активно размножающиеся недолговечные растения: пионерные травы и некоторые кустарники, например мирикария даурская) сменяются на виды с *K*-стратегией (долговечные, устойчивые и не слишком активно размножающиеся виды — такие как кедр и лиственница) [18]; увеличиваются наиболее крупные организмы, входящие в экосистему.

Заключение

Исследования, проведенные на молодых моренах бассейна Актру, показали, что на молодых постгляциальных поверхностях процессы формирования первичных экосистем связаны с климатическими, причем имеется как прямая, так и обратная связь: климат определяет направленность процессов на формирование экосистемы климатического типа, однако экосистема в процессе своего формирования, развития и функционирования влияет на испарение и альбедо и таким образом создает обратную связь, меняя характер циркуляции в области над экосистемой.

Процесс формирования экосистемы на молодых моренах ледников, представляющий собой распространение и преобразование живого вещества и биокосного тела, комплексен, сложен. Он включает в себя ряд подпроцессов, наиболее существенными из которых являются развитие растительного сообщества — автотрофного блока экосистемы, обеспечивающего фиксацию и транспорт солнечной энергии ко всем остальным компонентам экосистемы, и формирование почвы: биокосного тела, обеспечивающего экосистему органическим веществом, необходимым для функционирования ее автотрофного блока. Все эти процессы предопределены климатически, однако они также способны оказывать обратное влияние на климат за счет изменения альбедо поверхности, испарения и фиксации CO₂ растениями.

В различных климатических условиях на молодых моренах долинных ледников, расположенных в разных высотных поясах, выделены три стадии формирования растительности.

Первая стадия (пионерная) — заселение и образование разреженной растительности из пионерных растений, проективное покрытие которых к концу стадии на моренах ледника Малый Актру достигает 5–10%, тогда как на моренах Левого и Правого Актру лишь 1%.

Вторая стадия — разрастание кустарниковых ив, образование первичных микрогруппировок из пионерных растений и интенсивное заселение новыми видами из соседствующих с моренами фитоценозов. Проективное покрытие на моренах Малого Актру достигает 80%, на моренах Левого Актру — только 10%.

Третья стадия — образование первичных растительных сообществ: четырехъярусных на моренах Малого Актру и двухъярусных на моренах Большого Актру.

Характер протекания этого процесса различен и зависит от двух основных факторов: климатических условий и гранулометрического состава моренных отложений. Обусловленная высотой разница в температуре, а также разный гранулометрический состав моренных отложений в одном горно-ледниковом бассейне приводят к совершенно различным сообществам, формирующимся на заключительной стадии на моренах ледников Малый и Большой Актру.

Таким образом, общий вектор процессов, идущих на молодых моренах, можно определить как заданное климатически развитие экосистемы из «нулевого» состояния (т.е. отсутствие таковой), направленное на достижение экосистемы, находящейся в равновесном состоянии. При этом скорость развития экосистемы может быть различной. Сукцессионный процесс на моренах Малого Актру, расположенных в верхней части горно-лесного пояса, направлен на формирование кедрового леса климатического типа и, по-видимому, имеет большую скорость. На моренах Большого Актру, расположенных значительно выше, вектор направлен на формирование сообщества, характерного для горной лесотундры, и более замедлен.

Следует отметить, что в целом направленность процессов на моренах может измениться. Причина заключается в том, что характер динамического взаимодействия климата и экосистем во многом определяется принципом Ле-Шателье: внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия [26]. Итогом этого действия является возвращение системы в равновесие в результате ее изменения. Имеющиеся на настоящий момент глобальные изменения климата, по-видимому, недостаточны для возникновения реакции молодых экосистем, сформировавшихся на моренах ледников, и лежат в пределах их толерантности. Однако дальнейшее развитие глобальных климатических изменений может повлечь смену вектора развития молодых систем в сторону сообщества, в большей степени соответствующего изменившемуся климату, нежели существующего в настоящее время.

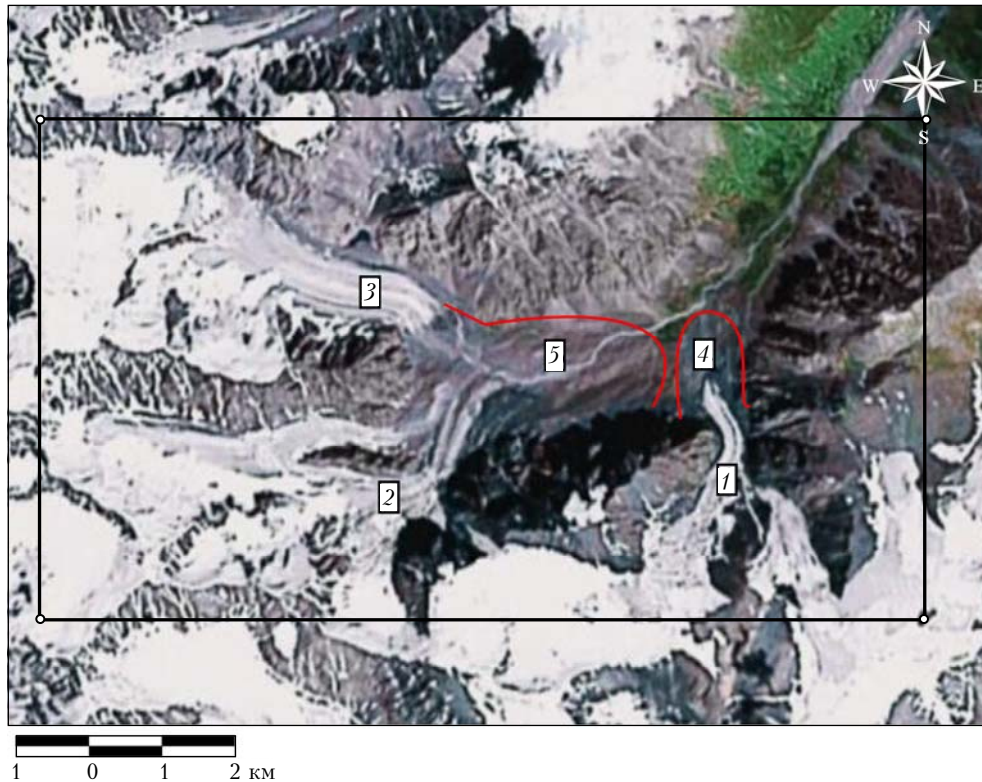
Работа выполнена по программе фундаментальных исследований СО РАН (проект 7.10.1.3).

1. Нарожный Ю.К., Окишев П.А. Динамика ледников Алтая в регрессивную фазу малого ледникового периода // Матер. гляциол. исслед. М., 1999. Вып. 87. С. 119–123.
2. Окишев П.А., Нарожный Ю.К., Адаменко М.Ф. Динамика ледников и климата в горах Южной Сибири // Региональный мониторинг атмосферы. Природно-климатические изменения. Ч. 4. Томск, 2000. С. 164–198.
3. Вернадский В.И. Живое вещество. М., 1978. 356 с.
4. Гроссвальд М. Оледенение антарктического типа в северном полушарии // Матер. гляциол. исслед. М., 1988. Вып. 63. С. 3–25.
5. Holdridge L.R. Determination of world plant formations from simple climatic data // Science. 1947. V. 105. P. 367–368.
6. Тронов М.В. Очерки оледенения Алтая. М.: Географиз, 1949. 376 с.

7. Тронов М.В. Ледники и климат. Л.: Гидрометиздат, 1966. 408 с.
8. Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И. Основные черты климата горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 3–48.
9. Тронов М.В. Горно-ледниковый бассейн Актру как показатель характерных свойств ороклиматической базы оледенения Алтая // Проблемы гляциологии Алтая. Томск, 1973. Вып. 1. С. 9–20.
10. Галахов В.П., Нарожный Ю.К., Никитин С.А., Окишев П.А., Севастьянов В.В., Шантыкова Л.Н., Шуров В.И. Ледники Актру (Алтай). Л.: Гидрометеиздат, 1987. 117 с.
11. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Изд-во ТГУ, 1998. 201 с.
12. Душкин М.А. Многолетние колебания ледников Актру и условия развития молодых морен // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 83–101.
13. Окишев П.А. Об общности процесса сокращения ледников на Алтае // Вопросы географии Сибири. Томск, 1966. Вып. 6. С. 127–134.
14. Окишев П.А. Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1982. 208 с.
15. Нарожный Ю.К., Никитин С.А. Современное оледенение Алтая на рубеже XXI века // Матер. гляциол. исслед. М., 2003. Вып. 95. С. 93–102.
16. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 300–432.
17. Тимошок Е.Е., Нарожный Ю.К., Диркс М.Н., Березов А.А. Опыт совместных гляциологических и ботанических исследований первичных сукцессий растительности на молодых моренах в Центральном Алтае // Экология. 2003. № 2. С. 101–107.
18. Тимошок Е.Е., Нарожный Ю.К., Диркс М.Н., Скороходов С.Н., Березов А.А. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. Томск: НТЛ, 2008. 206 с.
19. Matthews J.A. The ecology of recently-deglaciated terrain. N.Y.: Cambridge University press, 1992. 386 p.
20. Тимошок Е.Е. Растительность горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 2001. Вып. 5 (20). С. 74–85.
21. Бочаров А.Ю. Структура кедровых древостоев в высокогорьях Центрального Алтая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2009. 22 с.
22. Давыдов В.В., Тимошок Е.Е. Формирование почв на молодых моренах в бассейне Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет) // Сиб. экол. ж. 2010. № 3. С. 505–514.
23. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 741 с.
24. Копысов С.Г. Ландшафтная гидрология геосистем лесного пояса Центрального Алтая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005. 18 с.
25. Кривов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 273 с.
26. Тарко А.М. Устойчивость биосферных процессов и принцип Ле-Шателье // Докл. РАН. 1995. Т. 343, № 3. С. 393–395.

E.E. Timoshok, E.N. Timoshok, V.V. Davydov. **Observed relationship between ecosystem and climatic processes on the moraines in the headwater Aktru.**

The dynamics of primary vegetation and forming of primary soils were studied at the young moraines of the headwater Aktru (the Severo-Chuisky Range, Central Altai Mountains, Russia) under different climatic conditions. Authors separated three stages of succession in a dynamic succession series. Duration and particularity of development of primary communities were found for all the stages for the different altitudinal belts. Soil development was studied in severe conditions of periglacial moraines. Successional forming of pioneer soils is bound with development of vegetation cover. It is established that the pioneer stage of soil development under such conditions lasts about 150 years and finishes by forming of juvenile soils. Several aspects of relationship between climate and forming of mountain ecosystem were also reviewed.



Горно-ледниковый бассейн Актру: 1 – ледник Малый Актру; 2 – ледник Правый Актру; 3 – ледник Левый Актру; 4 – морены ледника Малый Актру; 5 – морены ледников Большой Актру, Правый и Левый Актру