

excluded for climate reconstruction. The optimal window for daily correlations occurred between May 24 and August 21. For the earliest period correlation was 0,75 and 0,72 for the latest. According to the tree-ring reconstruction, the coldest summer in Altai during the last 308 years was in 1826. The May-June period was 12.8 °C colder than the mean in the reference period (1959–2020). The reconstruction suggests that 1779 was the warmest May-June during the investigated period. The magnitude of the anomaly increased to 20.2 °C in this case. BI reconstruction showed the coldest summer in 1833 (15,6 °C) and the warmest summer in the same year as indicated by the RW reconstruction in 1779 (20,2 °C). RW explained 33% of the total variance of the mean May-June temperature over the instrumental period, while BI explained 51% of the total variance of the mean May-August temperature. As a result, we can conclude that BI is a more appropriate parameter for dendroclimatic reconstructions of the growing season in Altai

Acknowledgments. This work was supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014], the ERC project MONOSTAR (AdG 882727) and Krasnoyarsk Regional Science Foundation within the framework of the Academic Mobility Project Competition (code 2022051708667)

REFERENCES:

1. Fuentes, M., Salo, R., Björklund, J., Seftigen, K., Zhang, P., Gunnarson, B., et al., 2018. A 970-year-long summer temperature reconstruction from Rogen, west-central Sweden, based on blue intensity from tree rings. *Holocene* 28 (2), 254–266.
2. J. Björklund, B.E. Gunnarson, K. Seftigen, J. Esper, H.W. Linderholm. Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to Improve summer temperature reconstructions with earlywood information *Clim. Past*, 10 (2014), pp. 877-885
3. Biondi, F. &. (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 303-311.

Peculiarities of forming and functioning of Siberian stone pine forests of Altai

Timoshok E.N., Timoshok E.E., Raiskaia Yu.G.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
E-mail: ten80@mail.ru

Our long-term (more than 20 years) studies of Altai forests formed by Siberian stone pine (*Pinus sibirica* du Tour) allowed us to fetch out many peculiarities of forming of these forests and their functioning. The representativeness of the Aktru mountain glacier basin by hydroglacioclimatologic showings (Tronov, 1973) allowed us to assume the general trends and tendencies are common for the Altai, though influence of local factors still define the details (Timoshok et al., 2008).

We found almost all successions in mountain glacier basin Aktru is directed to the forming of Siberian stone forests. This forming may be direct, like transformation of tundra to stone pine forest during raising of treeline and forest line or during post-fire secondary succession in the larch forests of the Aktru river valley (Timoshok, 2020a) or be indirect as during primary successions at Malyi Aktru glacier forelands and glacionfluvial deposits of the Aktru river (Timoshok, 2020b,c). This common direction allow us to assume the siberian stone pine forests serve as kind of attractor, similar to F. Clements conception of ecosystem climax. Signs of similar changes in the past was confirmed by the data of spore and pollen analysis (Blyakharchuk T.A. et al., 2004). The analysis also confirms that changes of Altai forest composition occurred in the past: Siberian stone pine forest were much more common than now in the humid periods with lower impact of fire disturbances while larch was as common as now in dryer periods.

Siberian stone pine forests have high stability because of longevity of *Pinus sibirica* and its ability to produce cones and seeds until the moment of physical death of the stone pine individual. Their stability is proven by the fact these forests survived Little Ice Age without significant changes (Timoshok at al., 2016). These forests have complex mosaics of forest types. Each element of mosaic exist in its own cyclic succession. These elements of the forest changed when trees become older and die, but new Stone pine forest is forming on the place of the dead element. So entire forest remains existing, though trees in some element of its structure may die. Such shortened cyclic succession is untypical for the Siberian stone pine as in the Weat-Siberian plain such succession include a stage of deciduous forest, not existing in the Altai mountains.

Особенности формирования и функционирования кедровых лесов Алтая

Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Райская Ю.Г.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
E-mail: ten80@mail.ru

Исследование устойчивости экосистем и климатической обусловленности их существования и развития являются интересным и в целом перспективным направлением развития отечественной науки. Целью данной работы является обобщение наших более чем 20-летних исследований экологии наземных экосистем Алтая, особую роль среди которых занимают кедровые леса, сформированных кедром сибирским (*Pinus sibirica* du tour).

ФОРМИРОВАНИЕ КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ АЛТАЯ

Четвертичная активность ледников и множественные крупные оледенения неоднократно уничтожали растительность в горных долинах Алтая. Даже похолодание в Малый Ледниковый Период уничтожило значительную часть приледниковых лесов, включая кедровые. Однако, когда ледники отступали, на обнажившиеся постгляциальные поверхности, лишённые даже почвы, сорванной наступавшими ледниками в период похолодания, начинался занос зачатков растений и включались сукцессионные процессы. В ходе первичных сукцессий происходило формирование новых лесов. Исследования Е.Е. Тимошок и соавторов (2008) показали, что сукцессии на моренных комплексах долинных ледников Алтая, находящихся в пределах лесного пояса, носят различный характер и зависят от местного климата, однако вместе с тем репрезентативность горноледникового бассейна р. Актру по гляциоидрометеорологическим показателям, установленная М.В. Троновым (1973) позволяет предположить что наиболее детально исследованные сукцессии на молодых моренах ледника Малый Актру и флювиогляциальных отложениях р. Актру являются в значительной степени типичными для Алтая в целом.

Первичные сукцессии протекающие на моренных комплексах ледника Малый Актру включают **пионерную стадию**, для которой характерно заселение первых растений, **ивово-мирикариево-дриадово-разнотравную стадию**, во время которой идет формирование полноценного травянистого наземного покрова и активное развитие почвы, и заселение **лиственницы**, и **мохово-ивово-березковую стадию**, на которой происходит формирование развитого кустарникового яруса и рост деревьев лиственницы. (Тимошок и др., 2008, Timoshok et al., 2020a) Стадия молодого лиственничного леса, на которой происходит переход зарослей березки в молодой лиственничный лес еще не отмечено, но со временем эта стадия неизбежно наступит.

Первичные сукцессии на флювиогляциальных отложениях протекают по сходной схеме - имеет место длительная **пионерная стадия**, на которой формирование сомкнутой растительности невозможно из-за влияния режима нарушений, в первую очередь наледей, **мохово-кустарниковая стадия** на которой протекает развитие почвы, растительности и кустарникового яруса и заселение лиственницы и **стадия лиственничного леса**, которая здесь успешно достигнута юных террасах р. Актру, в зоне с наименьшим уровнем нарушений. (Timoshok et al. 2020b).

Очевидным является тот факт, что обе эти сукцессии направлены на формирование лиственничных лесов, однако, как показали наши исследования, проведенные в послепожарных лесах (Тимошок, 2020), лиственничные леса не являются финальным результатом сукцессии. Было установлено, что такая сукцессия протекает по **пути ингибирования**, приостанавливаясь после формирования лиственничного леса на период равный сроку жизни лиственницы – около 600 лет, после чего лиственница сменяется кедром. Это предположение подтверждается исследованием особенностей лесов на современных флювиогляциальных отложениях (Тимошок Е.Е. и др., 2021), проведенным при участии авторов – в наиболее старых из них лиственница все еще остается основным эдификатором, однако в основном поколении кроме нее участвует и кедр, при этом подрост этих лесов состоит исключительно из кедра, что говорит о протекании в них смены. Таким образом в современный период все первичные сукцессии бассейна Актру направлены на формирование кедровых лесов через стадию лиственничного леса. Палеоэкологические данные (Blyakharchuk et al., 2004) показывают что подобные смены уже имели место в прошлом.

Другим путем формирования кедровых лесов является еще не завершенная вторичная сукцессия в лесотундровом экотоне долины р. Актру – трансформация тундровых экосистем в лесотундровые и, впоследствии, лесные. В настоящий момент отмечена только первая часть этой сукцессии: на первой стадии: **стадии одиночных деревьев** происходит заселение первых особей кедра. Эти сильно угнетенные, но адаптировавшиеся к холоду деревья создают фитополе, делающее возможным дальнейшую колонизацию кедра и захват им местообитания. На второй стадии: **стадии**

групп деревьев, кедр заселяется вблизи этих деревьев, фитополе группы кедров вызывает возникновения микроэкологического эффекта, обеспечивая ускорение колонизации и расширение групп. Следующая стадия – **трансформации**, является гипотетической, т.к. еще не наступила, но можно предположить что в ходе нее нижние группы кедров будут разрастаться и сливаться друг с другом и нижележащими лесами, создавая продвижение вверх не только границы дерева, но и границы леса.

Последним путем формирования кедровых лесов является их формирования в ходе завершения послепожарных вторичных сукцессий. настоящий момент послепожарные лиственничные леса являются основным типом экосистем долины р. Актру и высокогорий Алтая в целом, однако исторически преобладание этих лесов связано с снижением уровня осадков и ростом числа лесных пожаров. Данные Т.А. Бляхарчук (2004) свидетельствуют, что в периоды, для которых была характерна более высокая влажность кедр играл несравненно большую роль в сложении лесного покрова Алтая. Эта сукцессия, реконструированная нами (Тимошок, 2020) при помощи методики, построенной на таком подходе как IFC (McCormic, 1968), включает в себя **стадию гари**, когда за счет почвенного банка семян начинается восстановление растительности, **кустарниковой стадии**, следующей за ней **стадии молодого лиственничного леса**, на которой формируется лиственничный лес; **стадию плато**, то есть существования лиственничного леса без больших изменений. и **стадию материнского полога** на которой из подростка формируется полностью кедровое основное поколение деревьев, а старовозрастная лиственница сохраняется только в материнском пологе.

Таким образом **кедровый лес выступает своего рода аттрактором на формирование которого направлены все сукцессии**, протекающие в лесном поясе бассейна Актру и на его верхней границе, однако **формирование обширных кедровых лесов в высокогорьях Алтая невозможно из за существующего режима пожаров.**

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ АЛТАЯ

Исследования сотрудников нашей лаборатории (Тимошок и др. 2016) показали, что существующие в долине Актру небольшие фрагменты кедровых лесов сформировались более 600 лет назад. Благодаря широкому диапазону толерантности кедра сибирского по большинству экологических факторов эти леса без существенных изменений пережили Малую Ледниковую Эпоху. Это указывает на очень высокую стабильность кедровых лесов в условиях колебаний климата. Даже сравнительно короткий благоприятный для заселения кедра период может обеспечить их восстановление и существование (Тимошок Е.Е. и др., 2016). Факторами, обеспечивающим эту стабильность являются высокая продолжительность жизни кедра (500 и более лет) и его способность размножения, сохраняющаяся до момента физической гибели особи.

Кедровые леса долины р. Актру имеют достаточно большую неоднородность и состоят из парцелл, формирование которых определяется почвой: в более влажных местообитаниях формируются бруснично-зеленомошные парцеллы, в более сухих - бруснично-разнотравные, на каменистых участках формируются баданово-разнотравные парцеллы. В результате нарушений, приводящих к гибели ряда деревьев возможно формирование березковых парцелл, представляющих собой временный тип, существующих лишь до момента замещения погибших деревьев подростом. Важной особенностью этих лесов является их существование в режиме непрерывной циклической сукцессии в смысле Уотта протекающей не на уровне леса в целом, а на уровне отдельных парцелл. В ходе своего развития парцелла достигает финальной стадии - **мертвопокровного леса**, в котором она пребывает до начала массовой гибели деревьев кедра от старости. С гибелью значительного числа особей кедра парцелла входит в **стадию окна возобновления**. В окне возобновления происходит заселение кедра и его рост, по мере роста кедра, парцелла переходит в **стадию редины**, затем - на **стадию молодого кедрового леса**. Впоследствии парцелла окончательно приобретает черты своего основного типа - к примеру бруснично-разнотравного, и входит на стадию **зрелого леса**. Следует отметить, что во первых для равнинных кедровых лесах такая сукцессия включает стадию лиственных деревьев (Данченко, Бех, 2010), в условиях же высокогорий Алтая ее не наблюдается, а во вторых цикл практически не затрагивает соседние парцеллы, в силу чего леса продолжают существовать без существенных изменений. Именно эта особенность обеспечивает долговременность существования кедровых лесов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. - Томск. Изд-во ТГУ, 2010 - 424 с.
2. Тимошок, Е.Е., Нарожный Ю.К., Диркс М.Н. и др. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 208 с.
3. Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Савчук Д.А., Райская Ю.Г., Тимошок Е.Н. Лиственничники на водно-ледниковых отложениях в Северо-Чуйском центре оледенения (Русский Алтай) // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 9. С. 20–25.

4. Тимошок Е.Н. Особенности формирования и функционирования высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) // Международная конференция посвященная 135-летию Гербария им. П.Н. Крылова Томского государственного университета и 170-летию со дня рождения П.Н. Крылова 2020 с. 121-123.
5. Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S. van der Klaap W.O., Ammann B. Late glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai mountains, southern Siberia. // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004. №209. pp. 259-279
6. Timoshok E.E., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu., Timoshok E.N. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 48. Режим доступа: <http://iop-science.iop.org/article/10.1088/1755-1315/48/1/012008/pdf> (12.06.2022).
7. Timoshok E.E., Timoshok E.N., Gureyeva I.I., Skorokhodov S.N. Primary successions on the young moraines in the Severo-Chuiskiy Center of glaciation (Central Altai) // *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. Vol.13. № 1. P. 36-47.
8. McCormic J. Succession // *Via*. 1968. №1. P. 22-35
9. Timoshok E. E., Timoshok E.N., Raikaya Yu.G. Colonization of the young glaciofluvial deposits at the period of the modern climate warming in the North-Chuya glaciation center // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 548 (2020) 062045 IOP Publishing P. 1-6.

Changes in climate and vegetation of the Nomto-Nur lake basin (East Sayan) over the past 700 years

Volchatova E.V., Bezrukova E.V.

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia
E-mail: volchatova@igc.irk.ru

Despite the fact that there are a large number of lakes on the territory of the Eastern Sayan that formed in the Holocene and store valuable archives of the evolution of vegetation and climate in the region, the results of studying the dynamics of the ecosystems of the Eastern Sayan mountains remain extremely scarce [1, 2]. The high mountainous position of the lakes makes their ecosystems very sensitive to warming, since temperatures change faster in high mountain areas than in lower ones. Registration of such climate changes in various regions of the Eastern Sayan helps to understand the formation of the modern natural environment and predict its changes in the future.

Lake Nomto-Nur is located in the central part of the Eastern Sayan (1386 m above sea level), in the Okinsky district of the Republic of Buryatia. The lake is hydrologically connected with the Sentsa River, located in its valley [3].

To study the bottom sediments of the lake, we used the palynological method, the method of X-ray fluorescence analysis (XRF), the method of radiocarbon dating, as well as statistical and stratigraphic methods for interpreting and presenting the results.

Tilia software version 1.7.16 [4] was used to calculate the percentage of taxa, construct a diagram, and perform cluster analysis. Using the CONISS cluster analysis, three local pollen zones and four main zones of element distribution in the core were identified.

According to the age model, about 700 years ago, the shores of the lake were quite swampy, as evidenced by the high abundance of sedge and willow pollen. At that time, in the lake conditions were calm, favorable for the development of desmid algae of the genus *Cosmarium*, which are typical for phytoplankton of slowly flowing rivers, lakes, and sphagnum habitats [5]. The composition of grass pollen makes it possible to reconstruct the wide distribution in the river valley and around the lake of sagebrush-grass-forb groups of meadow-steppe appearance in well-heated elevated habitats in warm summer seasons.

Sharp changes in the parameters of SPA and XRF by 62-68 cm of the core testify to a major event in the history of the development of the lake. We hypothesize that these processes may be related to an incident such as an increase in the water level in the lake, possibly as a result of a flood / series of floods, which led to an expansion of its surface area and changing the shorelines of Lake Nomto-Nur. In this case, thickets of alder, which even today grow close to the water line in many parts of the lake shore, could be flooded or ended up right at the water's edge. Along with pollen, such macroelements as Na, Al, Si, K, Ca, Ti, contained in the soil, also entered the waters of the lake from coastal soils. A little earlier than this period, approximately 72 cm from the surface of the core, a sharp increase in the concentration of coal microparticles was recorded, followed by a sharp decline in the concentration of it. This could be a consequence of fires and also affect a sharp change in the elemental composition of bottom sediments and the content of spores and pollen in them.