

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ПАЛЕОЛАНДШАФТОВ ЮГА ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ В ГОЛОЦЕНЕ

G.A. Demidenko, S.V. Khizhnyak

CORRELATION RELATIONS BETWEEN PALEOLANDSCAPES COMPONENTS OF THE SOUTH OF PRIYENISEYSKAYA SIBERIA IN THE HOLOCENE

Демиденко Г.А. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

Хижняк С.В. – д-р биол. наук, проф. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Demidenko G.A. – Dr. Biol. Sci., Prof., Head, Chair of Landscape Architecture, Botany, Agroecology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

Khizhnyak S.V. – Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Цель исследования – построение корреляционных связей между климатическими данными и показателями органического вещества палеопочв на территории юга Приенисейской Сибири в голоцене. Объектами исследования являются геологические разрезы голоценовых отложений с горизонтами палеопочвы, входящих в состав Базы данных «Эволюции природной среды голоцена Сибири», расположенные на территории юга Приенисейской Сибири в лесостепной природной зоне. Оценка корреляционных связей между показателями выполнена с использованием корреляционного, факторного и регрессионного анализа. Модель корреляции климатических показателей и гумуса (его группового и фракционного состава) палеопочв в современном потеплении (голоцене) на территории юга Приенисейской Сибири показывает диапазон колебания климата. Каждый климатический период голоцена юга Приенисейской Сибири, как и всего северного полушария Земли, характеризует индивидуальной биоклиматической обстановкой природы. Ландшафт – это единая природная система, имеющая сложное взаимодействие его компонентов на определенной территории земной поверхности. Почва – ключевой компонент ландшафта, так как многие процессы, имеющие решающее значения, происходят именно в почве. Ландшафты геологического прошлого Земли, исследуемые методами палеоэкологического и палеогеографического анализов, называются палеоландшафтами. Голоцен – это современное потепление продолжительностью 10–12 тыс. лет. Значение органического вещества для диагностики типа почвообразования палеопочв трудно переоценить. Гумусовые вещества – сложные органические соединения, образующиеся из органического вещества под влиянием условий природной среды. Некоторые свойства гумуса слабо подвержены вторичным изменениям. К таким свойствам относится групповой состав гумуса. При этом на территории юга Приенисейской Сибири отношение $S_{гк} : S_{фк}$ зависит как от показателей температуры, так и от показателей осадков. Значимым является закономерное потепление, связанное с циклом увеличения показателей температуры в последние десятилетия.

Ключевые слова: голоцен, палеоландшафты, палеопочвы, органическое вещество, групповой состав гумуса ($S_{гк} : S_{фк}$), климатические показатели, факторный анализ, климат, Приенисейская Сибирь.

The research objective is the creation of correlation relations between climatic data and indicators of organic substance paleosols in the territory of the south of Priyeniseyskaya Siberia in the Holocene. The objects of the research are geological cuts of Holocene deposits with the horizons of paleosols which are a part of "Evolutions of Environment of the Holocene of Siberia" database, located in the territory of the south of Priyeniseyskaya Siberia in a forest-steppe natural zone. The assessment of correlation communications between the indicators is executed using correlation, factorial and regression analysis. The model of correlation of climatic indicators and humus (its group and fractional structure) paleosols in modern warming (Holocene) in the territory of the south of Priyeniseyskaya Siberia shows the range of climate fluctuation. Each climatic period of the Holocene of the south of Priyeniseyskaya Siberia, as well as all northern hemisphere of the Earth, is characterized by individual bioclimatic situation of nature. The landscape is uniform natural system having difficult interaction of its components in a certain territory of terrestrial surface. The soil is key component of landscape as many processes, having solving values, present in the soil. The landscapes of geological past of the Earth, studied by the methods of paleoecological and paleogeographic analysis are called paleolandscapes. The Holocene is modern warming lasting 10–12 thousand years. In paleosols it is difficult to overestimate the value of organic substance for such diagnostics as soil formation. Humic substances are difficult organic compounds formed of organic substance under the influence of environment conditions. Some properties of humus are poor subject to secondary changes. The group structure of humus treats such properties. Thus in the territory of the south of Priyeniseyskaya Siberia the ratio $Cha : Cfa$ depends both on temperature indicators and on the indicators of rainfall. Natural warming connected with the cycle of increase in the indicators of temperature in the last decades is significant.

Keywords: *Holocene, paleolandscapes, paleosols, organic matter, group composition of humus (Cha:Cfa), climatic parameters, factor analysis, climate, Prieniseyskaya Siberia.*

Введение. Под ландшафтом принято понимать территорию земной поверхности, где компоненты ландшафта (рельеф, климат, поверхностные воды, растительность, почвы, животный мир и другие) находятся в сложном и неразрывном взаимодействии, образуя единую систему. Климат являлся главным фактором воздействия на смену ландшафтов как в межледниковые, так и ледниковые этапы развития Земли [5, 7].

Почва – это «память ландшафта», хранящая в себе информацию о географических закономерностях природной среды [6]. К палеоландшафтам относятся ландшафты геологического прошлого, которые изучают по их стратиграфическим «следам».

В голоцене, современном потеплении продолжительностью 10–12 тыс. лет, происходит формирование современного почвенного покрова. Выделяется несколько климатических периодов голоцена: предбореальный (первая половина – PB1; вторая половина – PB2); бореальный (первая половина – BO1; вторая половина – BO2), атлантический (первая половина – AT1; вторая половина – AT2), суббореальный (SB), субатлантический (SA), современный (SOV).

Цель исследования: построение корреляционных связей между климатическими данными и показателями органического вещества палеопочв на территории юга Приенисейской Сибири в голоцене.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являются геологические разрезы голоценовых отложений с горизонтами палеопочвы, входящих в состав Базы данных «Эволюции природной среды голоцена Сибири», расположенные на территории юга Приенисейской Сибири в лесостепной природной зоне [1].

Основной метод исследования – палеоэкологический мониторинг – изучает экосистемы (ландшафты) геологического прошлого, условия существования организмов разного уровня, в том числе и человека. Палеопедологический метод исследования изучает палеопочвы прошлых геологических периодов [2, 3]. Содержание гумуса и его группового и фракционного состава – один из наиболее информативных показателей при диагностике палеопочв.

Оценка корреляционных связей между показателями выполнена с использованием корреляционного, факторного и регрессионного анализа [4]. В качестве программного обеспечения использованы Пакет анализа MS Excel и StatSoft STATISTICA 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение. Почва – ключевой компонент ландшафта, так как многие процессы, имеющее решающее значение, происходят в почве. Наличие палеопочв в осадочных отложениях голоцена, безусловно, является следствием преобладания почвообразовательного процесса над процессом осадконакопления. В голоцене существовала смена климатических показателей в зависимости от глобальных изменений климата и его продолжительности (табл.).

Реконструкция ландшафтов Красноярской лесостепи в голоцене (исходные данные)

Возраст, тыс. лет	Климатический период, индекс	Почвы	Содержание гумуса, %	Соотношение Сгк : Сфк	Растительность	Показатель сухости
0,0–0,1	SOV	Обыкновенный чернозем, темно-серые лесные	9,0	1,2	Сосново-березовая лесостепь	2,0
0,1–3,0	SA	Черноземы, темно-серые, дерновые лесные	2,0	1,1	Сосново-березовая лесостепь с кедром и пихтой	1,8
3,0–4,5	SB	Дерновые, серые лесные, оподзоленные	0,8	0,9	Лиственнично-березово-сосновые леса с елью и кедром	1,7
4,5–6,0	AT2	Черноземы, серые лесные	2,1	1,3	Березово-сосновая лесостепь с пихтой	1,4
6,0–8,0	AT1	Темно-серые лесные, черноземы	1,7	1,1	Березово-лиственничная лесостепь	1,9
8,0–8,7	BO2	Серые лесные, подзолистые, дерновые лесные	0,7	0,8	Сосново-березовые леса с кедром и пихтой	1,8
8,7–9,5	BO1	Черноземы	1,5	1,4	Полынно-разнотравная, злаковая степь	1,2
9,5–9,9	PB2	Подзолистые, подзолисто-глеевые, глееземы	0,5	0,7	Злаково-разнотравная степь с кустарничковой березкой	1,8
9,9–10,3	PB1	Недифференцированные, таежные мерзлотные, криоземы	0,5	0,6	Злаковые холодные степи	2,0

Значение органического вещества для диагностики типа почвообразования палеопочв трудно переоценить. Гумусовые вещества – сложные органические соединения, образующиеся из органического вещества под влиянием условий природной среды. Важным является то, что некоторые свойства гумуса слабо подвержены вторичным изменениям. К таким свойствам относится групповой состав гумуса. При диагностике палеопочв классификационным признаком является в групповом составе гумуса отношение содержания гуминовых кислот к фульвокислотам (Сгк : Сфк). Как правило, групповой состав органического вещества гумусово-аккумулятивных горизонтов палеопочв степного генезиса относится к фульватно-гуматному типу. Соотношение Сгк : Сфк больше 1. Для палеопочв лесного генезиса групповой состав органического вещества гумусово-аккумулятивных горизонтов палеопочв относится к гуматно-фульватному типу. Соотношение Сгк : Сфк меньше 1.

Реальные значения Сгк : Сфк (см. табл.) и их значения, рассчитанные по уравнению (1), представлены на рисунке 1:

$$Y = 1,361 - 0,184 X_2 - 0,156 X_1^2 - 0,238 X_2^2, \quad (1)$$

где Y – отношения Сгк : Сфк; X₁ – величина «Фактора 1» (температура); X₂ – величина «Фактора 2» (осадки). Уравнение регрессии значимо на уровне p = 0,001, коэффициент детерминации R² = 0,947.

Анализ влияния отдельных показателей температуры и влажности на отношение Сгк : Сфк показал, что это отношение хорошо описывается полиномом первой степени, включающим в качестве независимых переменных температуру июля, температуру января, продолжительность безморозного периода, осадки годовые, осадки холодного периода, осадки теплого периода.

Статистическая значимость регрессионной модели p < 0,05, коэффициент детерминации R² = 0,984 представлены на рисунке 2.

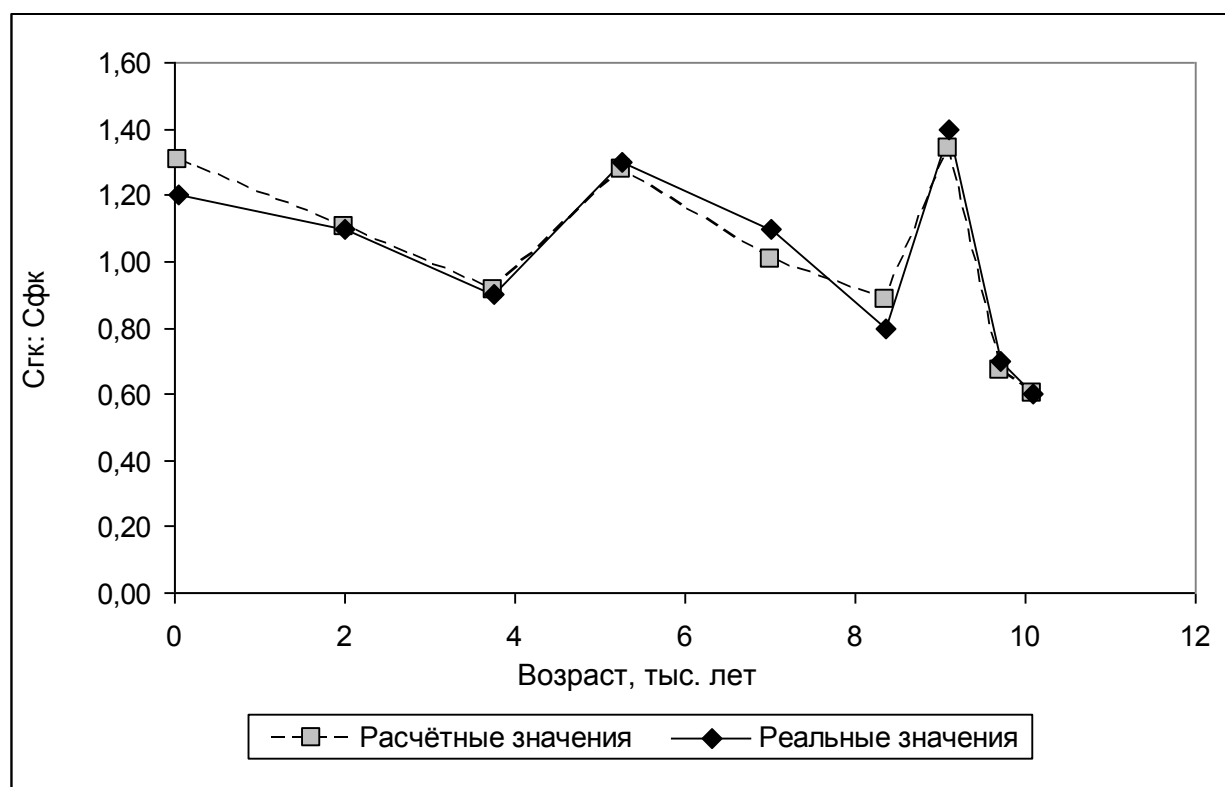


Рис. 1. Реальные значения Сгк : Сфк и значения, рассчитанные по уравнению (1)

После исключения статистически незначимых коэффициентов уравнение регрессии приобретает следующий вид:

$$Y = -9,065 + 0,312 X_1 - 0,162 X_2 + 0,023 X_3 - 0,004 X_4 + 0,009 X_5, \quad (2)$$

где Y – отношение Сгк : Сфк; X₁ – температура июля; X₂ – температура января; X₃ – продолжительность безморозного периода; X₄ – осадки годовые; X₅ – осадки холодного периода.

При этом значимость регрессионной модели сохраняется на уровне p < 0,05, а коэффициент детерминации несколько снижается и составляет R² = 0,961.

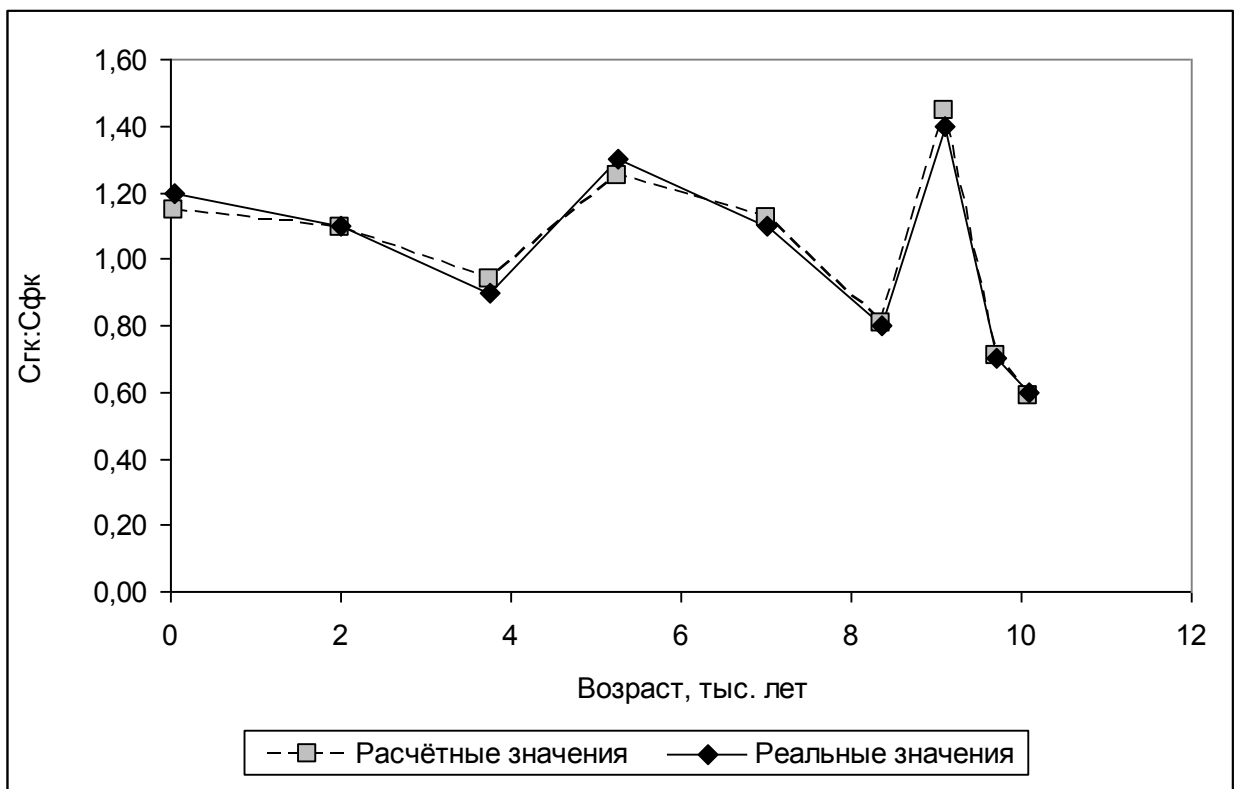


Рис. 2. Реальные значения $S_{гк} : S_{фк}$ и значения, рассчитанные по уравнению множественной регрессии

Уравнение множественной регрессии включает температуру июля, температуру января, продолжительность безморозного периода, осадки годовые, осадки холодного периода, осадки теплого периода.

Анализ бета-коэффициентов показал, что основной вклад (73 %) в величину отношения $S_{гк} : S_{фк}$ в анализи-

руемый период вносили показатели температуры. На долю атмосферных осадков пришлось лишь 27 % вклада (рис. 3). Величины бета-коэффициентов представлены в виде диаграммы на рисунке 4.

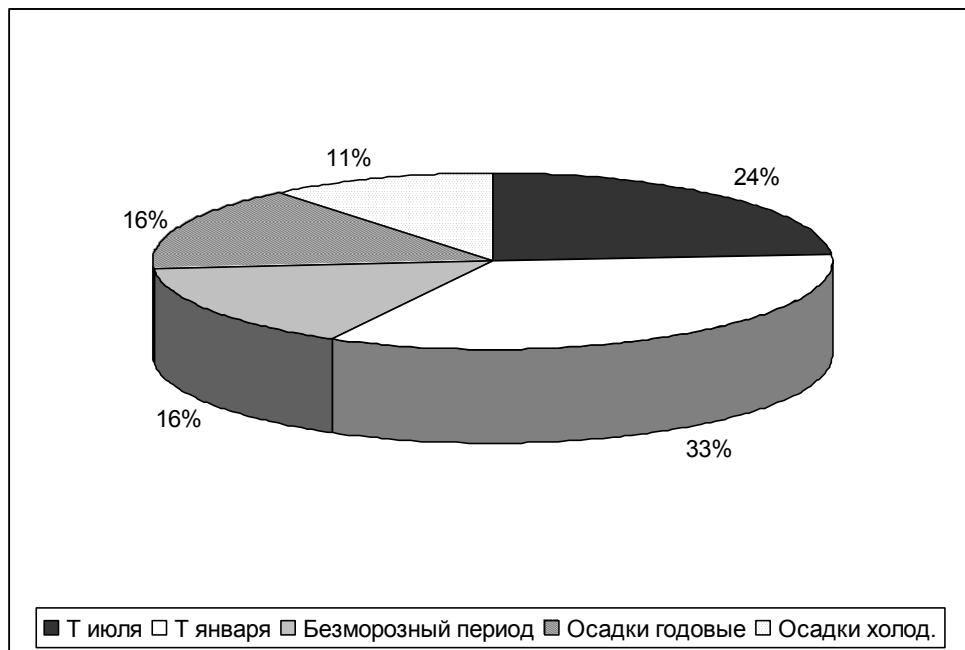


Рис. 3. Рассчитанный на основе бета-коэффициентов относительный вклад показателей температуры и влажности в величину отношения $S_{гк} : S_{фк}$ в анализируемый период

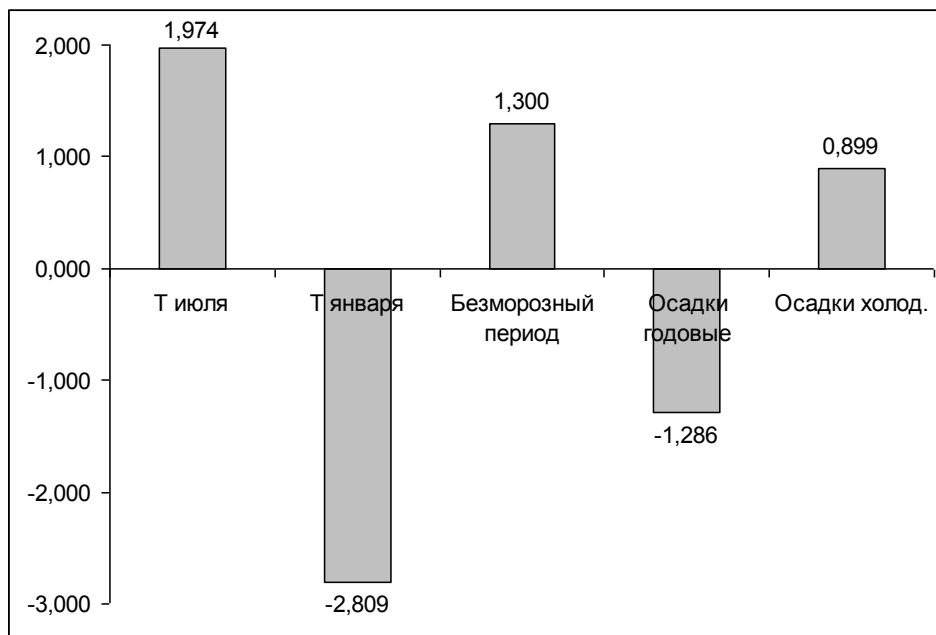


Рис. 4. Значения бета-коэффициентов в уравнении регрессии, описывающем влияние климатических показателей величину отношения $S_{гк} : S_{фк}$ в анализируемый период

Суммируя результаты анализа, можно отметить, что отношение $S_{гк} : S_{фк}$ увеличивается при росте летних температур (июль), при падении зимних температур (январь), а также при увеличении продолжительности безморозного периода и количества осадков в холодный период. В то же время увеличение суммарного количества годовых осадков ведет к снижению $S_{гк} : S_{фк}$.

Заключение. Влияние отдельных показателей температуры и влажности на отношение $S_{гк} : S_{фк}$ показало, что это отношение хорошо описывается полиномом первой степени, включающим в качестве независимых переменных температуру июля, температуру января, продолжительность безморозного периода, осадки годовые, осадки холодного периода, осадки теплого периода. При этом на территории юга Приенисейской Сибири отношение $S_{гк} : S_{фк}$ зависит как от показателей температуры, так и от показателей осадков.

Значимым является закономерное потепление, связанное с циклом увеличения показателей температуры в последнее десятилетие.

Литература

1. Демиденко Г.А. Реконструкция природных комплексов Сибири в голоцене: учеб. пособие. – Красноярск, 1999.
2. Демиденко Г.А. Корреляция экосистем лесостепной и степной зон Сибири в голоцене // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 4. – С. 161–166.
3. Демиденко Г.А., Хижняк С.В. Влияние глобального изменения климата на флуктуацию природных зон и

- подзон Приенисейской Сибири // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 7. – С. 98–106.
4. Иберла К. Факторный анализ. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
5. Пианка З.Э. Эволюционная экология. – М.: Мир, 1981. – 399 с.
6. Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. – М.: Географиздат, 1947. – 144 с.
7. Vaganov E.A., Hughes M.K, Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings // Ecological studies: analysis and synthesis. – 2006. Т. 183. – P. 23–27.

Literatura

1. Demidenko G.A. Rekonstrukcija prirodnyh kompleksov Sibiri v golocene: ucheb. posobie. – Krasnojarsk, 1999.
2. Demidenko G.A. Korreljacija jekosistem lesostepnoj i stepnoj zon Sibiri v golocene // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 4. – S. 161–166.
3. Demidenko G.A., Hizhnyak S.V. Vlijanie global'nogo izmenenija klimata na fluktuaciju prirodnyh zon i podzon Prienisejskoj Sibiri // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 7. – S. 98–106.
4. Iberla K. Faktornyj analiz. – M.: Statistika, 1980. – 398 s.
5. Pianka Z.Je. Jevoljucionnaja jekologija. – M.: Mir, 1981. – 399 s.
6. Rode A.A. Pochvoobrazovatel'nyj process i jevoljucija pochv. – M.: Geografizdat, 1947. – 144 s.
7. Vaganov E.A., Hughes M.K, Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings // Ecological studies: analysis and synthesis. – 2006. Т. 183. – R. 23–27.