

УДК 630*181.32: 630*17:582.475(571.52)

Исследование лесопригодности почв для хвойных лесов Республики Тыва с помощью ГИС

The investigation of Tuva soil suitability for coniferous forest with GIS

И. В. Тихонова, Л. В. Мухортова, И. В. Данилова, И. А. Михайлова

I. V. Tikhonova, L. V. Mukhortova, I. V. Danilova, I. A. Mikhaylova

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Академгородок, 50/28, 660036
E-mail: selection@ksc.krasn.ru, biosoil@ksc.krasn.ru, tiv80@ksc.krasn.ru, irina@ksc.krasn.ru

Реферат. Изучалась география почв Тывы, пригодных для произрастания хвойных лесов. Оценку лесопригодности и градацию почв на 3 категории (высокопригодные, пригодные, мало и непригодные) проводили на основе сведений о почвенной экологии видов, базы данных о типах почв под естественными хвойными лесами и лесными культурами в Средней и Восточной Сибири, картографических данных и результатов проводимых нами исследований почв в лесах Южной Сибири (на юге Красноярского края, в Хакасии и Тыве). Отдельно для каждого из пяти хвойных видов (*Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb.) проведен анализ почвенных ареалов и составлены электронные карты пригодных почв. Проведен сравнительный анализ данных, оценен вклад почвенных факторов в распространение светло- и темнохвойных видов на территории Тывы. Установлено, что в исследуемом районе площадь сосновых лесов существенно меньше площади высокопригодных для них почв (соответственно, 1 и 65 % общей площади).

Summary. The geography of Tuva soils suitable for the growth of coniferous forests was studied. Assessment of soil suitability and gradation into 3 categories was carried out on the basis of information about soil ecology of species, as well as a database of soils under natural coniferous forests and forest plantations in Central and Eastern Siberia, the map data and the results of our studies of soils in the forests of Southern Siberia (in the south of Krasnoyarsk krai, Khakassia and Tuva). The soil habitats separately for each of five coniferous species (*Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb.) were analyzed and electronic maps of soil suitability were done. A comparative analysis of the data, the contribution of soil factors in the distribution of light- and dark-coniferous species on the territory of Tuva were studied. It was found that in the studied region the pine forest area was significantly smaller than the area of suitably soil.

Введение

Современная лесистость территории Тывы составляет 46 %, или 7,7 млн. га покрытой лесом площади из 16,8 млн. га (рис. 1). Большая часть лесов – хвойные (95 %), в их числе главные лесообразующие породы – лиственница (69 %) и кедр (32 %), на сосну и ель приходится по 1 %, пихта встречается крайне редко в северо-восточной части. Большая часть хвойных лесов расположена в горных трудно доступных районах и поэтому мало изучена. Этим объясняется необходимость применения дистанционных методов и ГИС для изучения лесного покрова республики. Актуальность проводимого исследования определяется большой значимостью экологической роли лесов Южной Сибири (Протопопов, 1975; Поликарпов и др., 1986; Краснощеков, 2013). Отметим, что развитие методов мониторинга состояния лесов, включая лесное и почвенное картографирование, являются приоритетными направлениями развития лесной науки и необходимым условием устойчивого лесопользования (Горбачев, Бабинцева, 2011; Лукина и др., 2015). В восточных и северо-восточных лесных районах Тывы располагается водосборный бассейн двух основных истоков Енисея – Бий-Хема и Каа-Хема, обеспечивающего водой население Центральной Сибири и энергией 2 крупнейшие ГЭС. В этой связи значение горных лесов Тывы трудно переоценить. Особую обеспокоенность вызывают тенденция к сокращению площади лесов от участвовавших пожаров в последние десятилетия (Куулар и др., 2009) и грандиозные планы освоения минеральных ресурсов Восточно-Тувинского нагорья, Тоджинской котловины (основных лесных районов), Центрально-Тувинской котловины. В частности, в Центрально-Тувинской котловине лесная и степная растительность удерживают значительные массы песка (Петров, 1952), которые могут прийти в движение, как это происходит повсеместно в южных районах страны, они встреча-

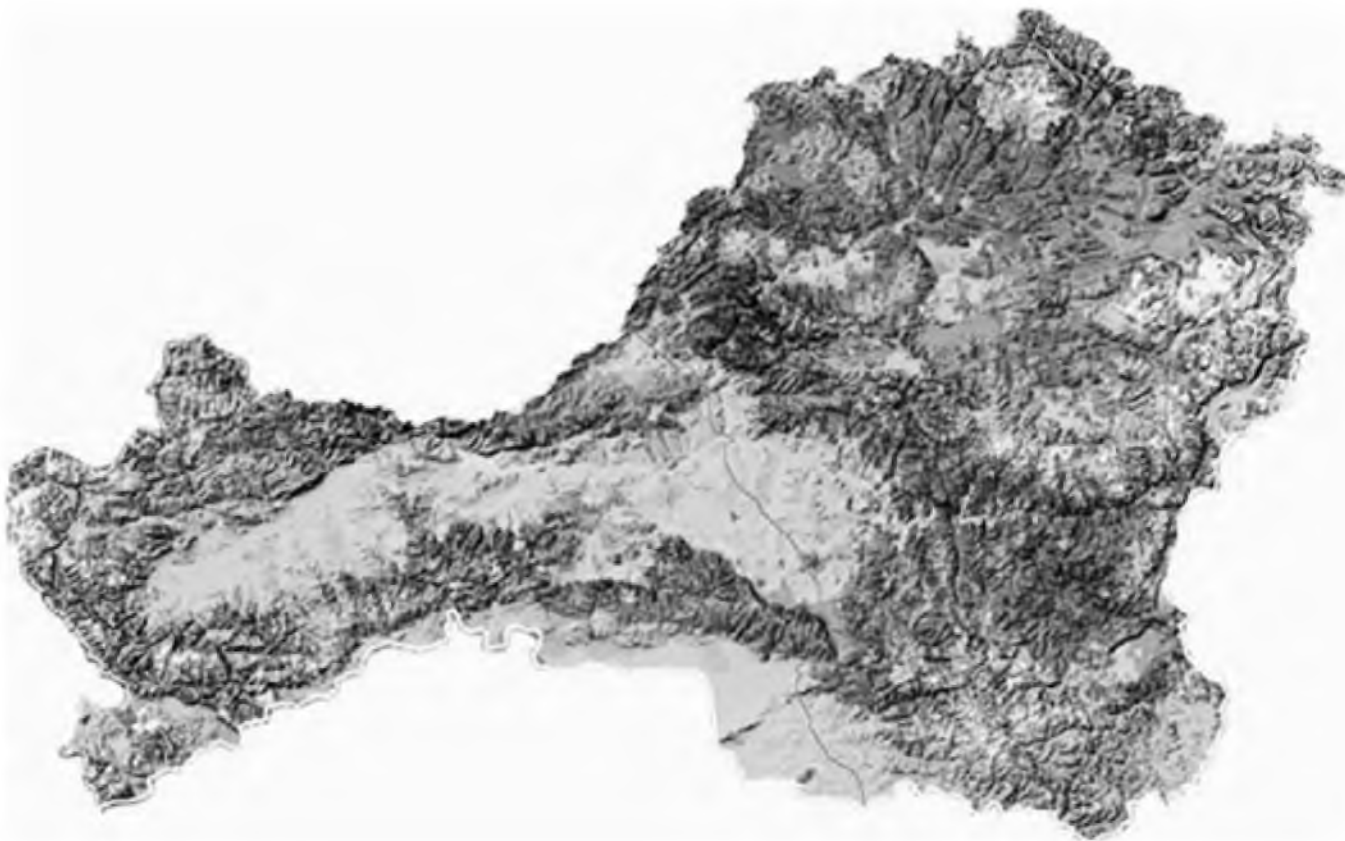


Рис. 1. Распространение лесов в республике Тыва (белый цвет – снежники, светло-серый – степи, луга и полупустыни, темно-серый – леса).

ются даже в Якутии (Невяжский, Биджиев, 1960). В Туве уже имеются крупные массивы перевеянных барханных песков (массив Борзиг-Дель в р-не оз. Тере-Холь, массивы в Улуг-Хемской и Хемчикской котловинах, в Саргалык-Тайге).

При этом необходимо отметить, что Тува расположена в центре Евразии. Это вместе с особенностями рельефа является причиной довольно сурового ксеротермического резко континентального климата и соответствующего генезиса растительности и почв, обуславливающих трудности естественного и искусственного лесовосстановления. Как известно, с ухудшением климата виды древесных растений особенно избирательны в отношении почвы. Поэтому, установление наборов типов почв, на которых произрастают хвойные в современном климате Тувы, по сравнению с потенциально возможными, необходимо для получения знаний об их экологии, в части, касающейся совместного влияния факторов «почва + климат». В связи с выше сказанным, целью нашей работы было изучение лесопригодности почв Тувы и их географии для пяти хвойных видов: ели сибирской *Picea obovata* Ledeb., лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb., сосны сибирской кедровой *Pinus sibirica* Du Tour., сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb.

Материал и методы

Материалом для исследования послужили описания пробных площадей (типов леса и почвы) в Средней и Восточной Сибири, полученные из литературы (Крылов, 1960 и др.), собственные данные, собранные на юге Красноярского края, Хакасии, Бурятии и Туве с 1996 по 2014 гг. Почвы для каждого вида хвойных подразделяли на 3 категории: 1 – высокопригодные, 2 – пригодные, 3 – мало- и непригодные. Лесопригодность определялась на основе вышеперечисленных данных и обобщенных сведений о почвенной экологии хвойных видов (Горбачев, 1986; Ершов и др., 2001; Березин, Карпачевский, 2009; Ведрова и др., 2010; Краснощеков, 2013 и др.). При определении наиболее подходящих для каждого вида условий использовали свои наиболее значимые характеристики почвы. Например, для сосны это механический состав и дренированность почвы, для лиственницы – дренированность и наличие карбонатов, для пихты, ели и кедра – дрени-

рованность, богатство и режим увлажнения почвы. Учитывали, что все хвойные плохо переносят засоление почвы.

Основными источниками картографической информации были «Почвенная карта Тувы» М 1:1 000 000 (1962), карта «Леса СССР» М 1:2 500 000 (1990) и карта растительного покрова России, выполненная по данным MODIS M1:2 500 000 (Барталев и др., 2011). На последней карте выделены сосновые леса, лиственничные, темнохвойные смешанные, на карте «Леса СССР» показана география лесообразующих пород. Тематические карты совмещали на ландшафтной основе. Для территориальной привязки использовали цифровую векторную топооснову масштаба 1:1 000 000, почвенную карту и цифровую модель рельефа (SRTM 90 DEM). Для пространственного анализа картографических данных использовали пакет программ ESRI ArcGIS. Привязка и оцифровка бумажной почвенной карты была выполнена в программе EasyTrace. По 647 полигонам почвенной карты региона в легенде имелись и были нами использованы следующие характеристики: преобладающий и дополнительные типы почвы (всего 60 типов), группа почвообразования, подгруппа (равнинная или горная территория), подстилающая порода.

Для анализа пространственных данных использовали дисперсионный анализ для равномерных комплексов, корреляционный анализ данных с использованием критериев ранговой корреляции Кендала-Тай – τ и Спирмена – R .

Результаты

Коротко остановимся на общей характеристике почв. Одной из особенностей почвенного покрова Тувы является его пестрота на самых близких расстояниях, объясняемая сложным геологическим строением, большим разнообразием горных пород не только в условиях горного рельефа, но и на равнинах (Петров, 1952; Носин, 1963). Если совместить почвенную и лесную карты Тувы, можно заметить, что хвойные леса преобладают на почвах, подстилаемых магматическими и метаморфическими коренными породами, в том числе гранитами, базальтами, сланцами, гнейсами, карбонатными породами (мраморами, известняками), песчаниками, моренными отложениями, делювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями. Большая их часть приурочена к почвам легкого механического состава (супесчаным, легкосуглинистым, среднесуглинистым), для которых в целом характерна небольшая мощность гумусового слоя (не более 20–30 см), высокая скелетность с резкими переходами между горизонтами. Интересно, что характерная для многих аридных районов страны засоленность почв в Туве мало распространена из-за их высокой дренированности (Носин, 1963). Суммарная площадь таких почв составляет 1.36 %.

К группе таежного почвообразования на территории Тувы отнесены: темно-серые и серые лесные средне- и легкосуглинистые, темно-серые горно-лесные; дерново-подзолистые и слабоподзолистые супесчаные и песчаные; горно-таежные дерновые неоподзоленные и слабо оподзоленные, горно-таежные дерновые остаточнокорбонатные; горные подзолистые; горно-таежные перегнойные кислые неоподзоленные и горно-таежные перегнойные оподзоленные (длительно-сезонно-мерзлотные); горно-таежные кислые железные (длительно-сезонно-мерзлотные); горные мерзлотно-таежные торфянисто-перегнойные глееватые; горные мерзлотно-болотные почвы. Площади современных хвойных лесов республики хорошо совпадают с ареалом перечисленных типов почв (табл.). Наиболее широкой амплитудой по почвенным условиям отличаются лиственничные леса (рис. 2), которые встречаются внутри полигонов всех типов почв ряда таежного почвообразования (12 типов), значительной части почв степной зоны (25 типов) и высокогорий (8 типов). На втором месте по разнообразию почв, на которых распространены хвойные в современных климатических условиях Тувы, – кедровые (соответственно, 12, 5 и 6 типов) и сосновые леса (8, 8 и 6 типов). Леса с преобладанием пихты и ели встречаются только на 4–5 типах почвы, хотя в примеси в темнохвойных лесах они распространены гораздо шире (на всех типах почв таежно-лесного почвообразования, большей части почв высокогорий и на луговых, лугово-болотных и аллювиальных почвах по берегам рек в степных котловинах).

Интересно отметить, что и почвенные и климатические условия Тувы в целом достаточно благоприятны для сосны обыкновенной, учитывая ее нетребовательность к плодородию почв, высокую засухоустойчивость и предпочтение почв легкого гранулометрического состава. По некоторым данным, сосна даже более засухоустойчива, чем лиственница (Поликарпов и др., 1986 и др.). Как видно на рис. 2, площадь почв I категории лесопригодности, – самая высокая для сосны, составляет 65 %, для лиственницы 68 %, для кедра – 51 %, ели – 57 %, для пихты – 35 % (вместе с почвами 2 категории это, соответственно, 98, 97, 84, 92 и 81 %). Однако доля сосновых древостоев в лесах республики крайне мала. Очевидно, основные причины

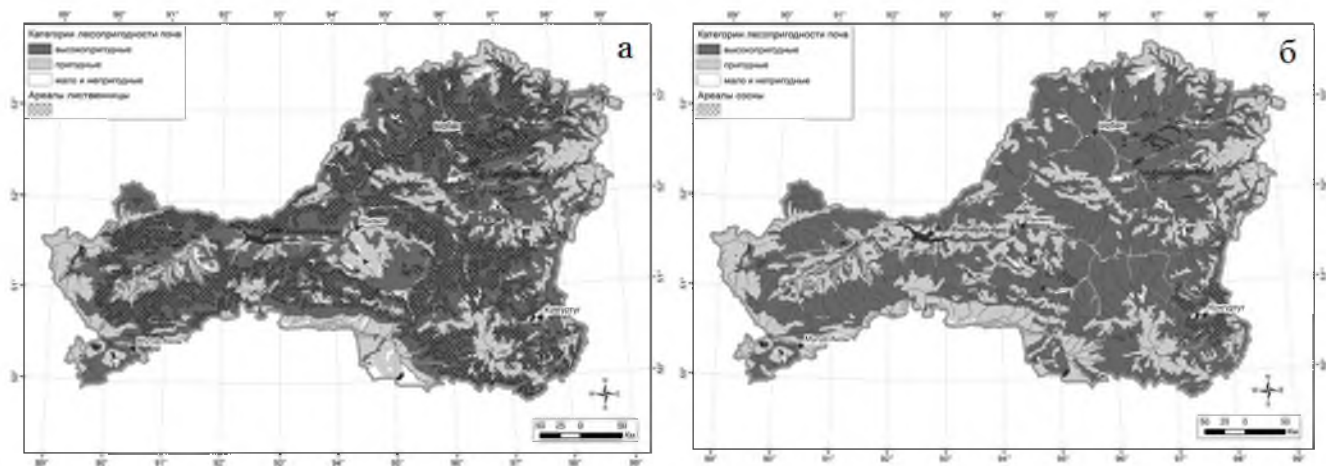


Рис. 2. География почв Тувы разной лесопригодности для лиственницы сибирской (а) и сосны обыкновенной (б), с наибольшей площадью пригодных почв.

Таблица

Встречаемость лесов, образованных видами хвойных, приуроченных к группам типов почвы

Группа почвообразования и типы почв	Общее число по-лиго-нов	Число полигонов, на которых встречается один из перечисленных видов хвойных				
		<i>Larix sibirica</i>	<i>Pinus sibirica</i>	<i>Picea obovata</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Abies sibirica</i>
Группа таежно-лесного почвообразования: серые и темно-серые лесные средне- и легкосуглинистые, темно-серые горно-лесные; дерново-слабоподзолистые супесчаные и песчаные; горные подзолистые; горно-таежные перегнойные оподзоленные; горно-таежные дерновые неоподзоленные и слабо оподзоленные; горно-таежные перегнойные кислые неоподзоленные (длительно-сезонно-мерзлотные); горные мерзлотно-болотные						
Всего	145	127 (137)*	101 (128)	2 (128)	35 (93)	1 (128)
Группа высокогорного почвообразования: горные луговые; горно-тундровые перегнойные; горно-тундровые дерновые; горные черноземы; горные каштановые						
Всего	167	104 (116)	120 (136)	0 (136)	13 (48)	2 (136)
Группа степного и пустынно-степного почвообразования: черноземы обыкновенные средне- и легкосуглинистые, супесчаные; лугово-черноземные средне- и легкосуглинистые; каштановые, светло- и темно-каштановые легкосуглинистые, супесчаные, щебнистые; луговые типичные; лугово-болотные; аллювиальные почвы						
Всего	292	161 (188)	32 (122)	0 (122)	22 (32)	0 (122)

Примечание: на остальных полигонах леса отсутствуют; *первая цифра – данные карты «Леса СССР» (1990), в скобках – данные карты растительного покрова России, разделяющие сосняки и лиственничники и общие для пихты, ели и кедра (Барталев и др., 2011).

значительного расхождения потенциальной пригодности местообитаний и степени их освоения сосной заключаются в более интенсивной вырубке сосняков и меньшей их устойчивости к пожарам, что отмечалось нами ранее (Тихонова и др., 2011).

О преимущественном влиянии климата на распространение хвойных лесов в Туве свидетельствуют невысокие коэффициенты корреляции между встречаемостью светлохвойных лесов внутри полигонов и категорией лесопригодности почвы ($\tau = 0,21-0,29$, $R = 0,24-0,36$). Для сосняков и лиственничников Красноярского края, Иркутской области и Хакасии они были значительными ($R = 0,86-0,95$) (Тихонова и др., 2014). Корреляции для темнохвойных, учитывая их более высокую требовательность к почвам, выше ($\tau = 0,45-0,48$, $R = 0,49-0,54$). Выявлена также тесная сопряженность ареалов наиболее распространенных в Туве *Larix sibirica* и *Pinus sibirica* (τ , $R = 0,69-0,80$). Получены от средних до высоких коэффициентов сопряжен-

ности распространения видов хвойных при сравнении двух использованных нами карт лесов (1990 и 2011 гг.), τ , $R = 0,68-0,86$. Ареал еловых лесов (по карте лесов 1990 г.) лучше совпадает с ареалом смешанных лесов (на карте 2011 г.) τ , $R = 0,87$.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что площадь почв 1 и 2 категорий лесопригодности составляет для разных хвойных видов от 81 до 98 %, самая большая – для сосны обыкновенной. Слабое участие *Pinus sylvestris* в лесах Тувы объясняется, главным образом, влиянием многолетних рубок и низкой устойчивостью ее к пожарам по сравнению с лиственницей сибирской. Этим же объясняется большее разнообразие почв под лиственничными лесами в Туве. Слабое совпадение площадей, занимаемых пихтовыми и еловыми лесами Тувы с почвами высокой лесопригодности указывает на преимущественное влияние климатических факторов на распространение данных видов.

В целом отмечено неплохое совпадение между двумя использованными нами картами, составленными по данным лесоустроительных организаций и спутниковым данным. Однако, для всех видов хвойных на большей части полигонов наблюдались отклонения в сторону сокращения ареалов на спутниковой карте растительного покрова России (Барталев и др., 2011). Это может быть связано как с естественными ошибками при составлении обеих карт, так и методическими различиями (первая – векторная карта, вторая – растровая).

Результаты исследований могут быть полезны не только для выбора лучших земель для искусственного лесовосстановления любого из лесообразующих видов хвойных, но и для экологического моделирования в целях палеоботанической реконструкции растительности прошлых эпох, в дополнение к работам (Белова и др., 1982; Бляхарчук, 2008; Кошкарлова, Кошкарлов, 2011), описывающим существенные колебания как лесистости, так и видового состава лесов Южной Сибири. К сожалению, из-за трудоемкости палеоботаническими исследованиями нельзя покрыть всю площадь. Предлагаемые методы могут повысить точность реконструкции для большой территории. Одним из примеров успешного использования биоклиматических моделей для реконструкции климата в горах Южной Сибири с получением новой полезной информации может служить работа Tchebakova et al. (2009).

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-44-04008-р_сибирь_a.

ЛИТЕРАТУРА

- Белова В. А., Барышева Е. М., Кольцова В. Г. и др. Растительность голоцена Средней Сибири // Плейстоцен и голоцен Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 64–70.
- Березин Л. В., Карпачевский Л. О. Лесное почвоведение. – Омск: Изд-во: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. – 374 с.
- Бляхарчук Т. А. Реконструкция лесной и высокогорно-степной растительности юго-западной части Тувы с позднеледниковья до современности // География и природные ресурсы, 2008. – № 1. – С. 89–96.
- Ведрова Э. Ф., Мухортова Л. В., Иванов В. В. и др. Восстановление запасов органического вещества после рубок в лесных экосистемах Восточного Прибайкалья // Известия РАН. Сер. Биол., 2010. – № 1. – С. 83–94.
- Горбачев В. Н. Об экологических связях почв и лесной растительности на юге Средней Сибири // Проблемы использования типов леса в лесном хозяйстве и лесоустройстве. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – С. 108–112.
- Горбачев В. Н., Бабинцева Р. М. Почвенно-Экологическое картографирование в системе устойчивого лесоводства // Ульяновский медико-биолог. журн., 2011. – С. 126–131.
- Ершов Ю. И., Москалев А. К., Степень Р. А. Земельные и лесные ресурсы Красноярского края, проблемы их рационального использования. – Новосибирск: Наука, 2001. – 114 с.
- Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8, № 4. – С. 285–302.
- Карта лесов: Леса СССР М 1:2500000. М, Федеральная служба лесного хозяйства, 1990.
- Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Эколого-фитоценологические особенности формирования растительного покрова в разных природных зонах Тувы в позднем голоцене // Бот. исследования в Сибири. – Красноярск: РБО РАН, 2011. – Вып. 19. – С. 48–50.
- Краснощечков Ю. Н. Почвенный покров и почвы горных лесов Северной Монголии. – Новосибирск: Наука СО, 2013. – 196 с.

Крылов Г. В. Леса Сибири и Дальнего Востока, их лесорастительное районирование. – М.–Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 156 с.

Лукина Н. В., Исаев А. С., Крышень А. М. и др. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение, 2015. – № 4. – С. 243–254.

Невяжский И. И., Биджиев Р. А. Эоловые формы рельефа Центральной Якутии // Изв. АН СССР, сер. Географическая. 1960. – № 3. – С. 90–95.

Носин В. А. Почвы Тувы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 343 с.

Петров Б. Ф. К характеристике почвенного покрова Тувинской АО (Центральная и Западная Тува) // Труды Южно-Енисейской комплексной экспедиции. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – Вып. 1. – 74 с.

Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.

Почвенная карта Тувинской автономной республики (М 1:1000000). – М.: Почвенный институт им В.В. Докучаева, 1962.

Протопопов В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса. – Новосибирск: Наука, 1975. – 328 с.

Тихонова И. В., Мухортова Л. В., Корец М. А. О потенциальных почвенно-климатических ареалах сосны и лиственницы в Средней Сибири // Лесоведение, 2014. – № 2. – С. 3–10.

Тихонова И. В., Семериков В. Л., Шишикин А. С. и др. О необходимости особого режима хозяйствования и охраны в рефугиумных (реликтовых) популяциях видов хвойных в Сибири // Лесное хозяйство, 2011. – №3. – С. 41–42.

Куулар Х. Б., Пономарев Е. И., Дробушевская О. В. Мониторинг возмущающих факторов, влияющих на растительность республики Тыва // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. – Т. 17. № 12. – С. 189–193.

Tshebakova N. M., Blyakharchuk T. A., Parfenova E. I. Reconstruction and prediction of climate and vegetation change in the Holocene in the Altai-Sayan mountains, Central Asia // Environ. Res. Lett., 2009. – Vol. 4. (045025). – 11 p.