

- [15] *Cubasch U. H.* Estimates of climate change in Southern Europe // *Climate Research*, London, 1996. 7. P. 129—149.
- [16] *Eicken H.* The Response of Polar Sea Ice to Climate Variability and Change // *CLIMATE OF THE 21st CENTURY: Changes and Risk*. Hamburg, 2001. P. 206—211.
- [17] *Fjeed O. K.* Geophysical Investigation for the Troll Sub-Sea Pipe Tunnel // *Paper of 53rd Meeting*, Florence, 1991. P. 338—339.
- [18] *Lozan J. L., Grabl H., Hupfer P.* CLIMATE OF THE 21st CENTURY: Changes and Risk. Hamburg, 2001. 432 p.
- [19] *Holmianskiy M.* Elektrometric Methods Usage for Geological and Geoecological Problems Solving on Russia's Arctic Shelf // *57th Meeting and 7th Conference abstracts of papers*. Glasgow, 1995. P. 54—55.
- [20] *Schreder N.* Resistivity at Sea // *CRC Handbook of Geophysical Exploration at Sea*. CRC Press. 1992. N 9. P. 2—46.

Изв. РГО. 2018. Т. 150, вып. 2

ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ВЫСОТНОЙ ЭКОТОННОЙ ПОЛОСЫ ВЫСОКОГОРНОГО МАССИВА МОНГУН-ТАЙГА

© *Е. С. ЗЕЛЕПУКИНА*,¹ *С. А. ГАВРИЛКИНА*,² *С. Н. ЛЕСОВАЯ*,³
*О. В. ГАЛАНИНА*⁴

Санкт-Петербургский государственный университет,

Санкт-Петербург

E-mail: ¹ e.zelepukina@spbu.ru

² s.gavrilkina@spbu.ru

³ s.lesovaya@spbu.ru

⁴ o.galanina@spbu.ru

Проведен анализ высотной структуры ландшафтов массива Монгун-Тайга, расположенного в аридных высокогорьях на стыке Алтая и Саян; приведена обобщенная характеристика почвенно-растительного покрова. Выявленная высокая степень сходства ландшафтных структур высотных ступеней интервала 2400—2800 м позволяет выделить высотную экотонную полосу между выраженными горно-степным и гляциально-нивальным поясами. Дана характеристика структурных элементов экотона, характеризующегося примерно равным сочетанием сообществ мезо-, ксеро- и криофитных экологических групп.

Количественная оценка факторов ландшафтогенеза проведена с применением статистических методов. В ходе анализа выявлена ведущая роль свойств местоположений в формировании мозаичной ландшафтной структуры массива.

Для оценки роли климатических факторов в формировании мозаичной ландшафтной структуры проведено моделирование полей пространственного распределения значений климатических параметров на основе цифровой модели рельефа высокого разрешения, что необходимо в условиях крайне низкой обеспеченности данными многолетних режимных наблюдений. Выявлено, что в схожих обстановках свойства и характеристики местоположений имеют приоритетное влияние на формирование почвенно-растительного покрова. Рассмотрены основные типы контактов растительных сообществ. Выявлено преобладание диффузного типа контактов.

Ключевые слова: экотонная полоса, факторы ландшафтогенеза, контакт растительных сообществ, аридные высокогорья, ландшафтная структура, Алтай-Саянский регион, мозаичность структуры.

Введение. Вертикальная смена природных геосистем горных массивов, расположенных одновременно на границе широтных зон и долготных секторов, обусловлена не столько проявлением гипсометрического фактора, сколько совместным влиянием климатических условий и особенностей орографического строения, вследствие чего формируются специфические переходные образования или экотоны. При мелко- и даже среднемасштабном картографировании в силу генерализации информации подобные переходные полосы не учитываются. Сам факт существования переходной полосы, в которой на ограниченной территории формируются сообщества, типичные для различных природных зон/высотных поясов, является диагностическим признаком смены климатических условий [4, 18], что особенно важно при недостатке метеорологической информации вследствие крайней разреженности сети метеостанций в горных странах. Необходимость и значимость всестороннего исследования экотонных зон заключаются еще в том, что детализация основных факторов формирования геокомплексов и их сочетаний позволяет уточнить положение границ климатических и геоботанических районов. Последнее особенно важно для получения обоснованной оценки устойчивости и чувствительности геосистем к внешним воздействиям.

Цель настоящего исследования — изучение специфики ландшафтной структуры выявленной экотонной полосы и количественная оценка роли факторов, обуславливающих приоритетность развития определенных геосистем. Выбор в качестве объекта исследования изолированного массива Монгун-Тайга (3970.5 м над ур. м.) определен положением его в центре Алтае-Саянской горной страны на границе Шапшальского хребта и хр. Цаган-Шибету на линии ороклиматического барьера.

Своеобразие климатических условий массива определяется тем, что территории, расположенные к северу и западу от него, характеризуются умеренной влагообеспеченностью, а к югу и востоку — недостаточной: здесь аридный резко-континентальный режим формируется вследствие изолированности от влагонесущих воздушных масс с запада (рис. 1, I—II).

Показателен тот факт, что границы климатических областей не совпадают с линией водораздела, а смещены в подветренную сторону за счет метелевого переноса твердых осадков [1]. В исследуемом регионе наблюдается смена ряда высотных поясов южносибирской группы типов поясности бореального класса [8, 14] резко отличающимся рядом поясов центральноазиатского типа аридного класса с пустошными лугами и, как правило, отсутствием лесного пояса [19]. На стыке хребтов Цаган-Шибету, Шапшальский и Чихачёва К. И. Соболевская в группе сухих континентальных типов поясности выделяла особый поясный спектр — «Монгун-Тайгинский» — с характерным широким поясом степей, наличием «лугостепей» («луговые степи», по Н. И. Макуниной [13]) и ерников, а также со слабо выраженным узким лиственничным поясом либо его полным отсутствием [17]. Важно отметить, что на территории Алтайской горной страны отмечается преобладание разнообразных комбинативных типов поясности [7].

Материалы и методы. Ландшафтное картографирование массива Монгун-Тайга (в масштабе 1:100 000) проводилось на основе полевых материалов, полученных в ходе комплексных экспедиций СПбГУ. При составлении карты также использовались геоморфологическая схема массива Ю. П. Селиверстова [16], схема криогенных комплексов и космоснимки (Landsat). В работе применялась цифровая модель рельефа с разрешением 1 арк-секунда [24] и

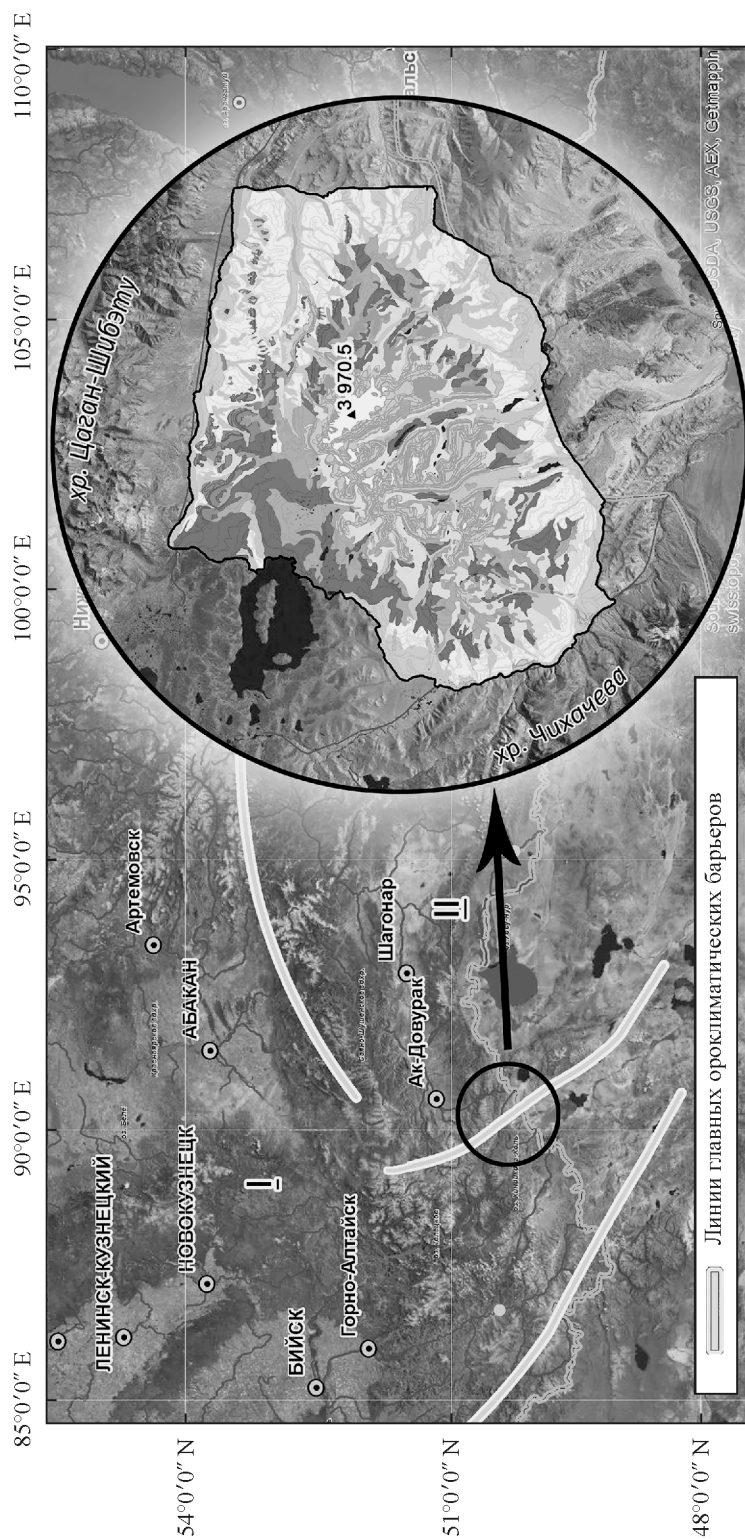


Рис. 1. Район исследования (линии главных оклиматических барьеров — по [15]). Пояснения в тексте.

созданная на ее основе модель уклонов. Под ландшафтной структурой в данной работе понимается взаимное расположение в пространстве и соотношение геосистем ранга урочище/группа урочищ. Сравнительный анализ растительного покрова проведен с использованием коэффициента сходства (K_c):

$$K_c = \sum_1^n \min(P_a, P_b), \quad (1)$$

где P_a, P_b — доли площади выделенных в данной работе групп растительных сообществ на сравниваемых 200-метровых высотных интервалах a и b , n — количество выделенных групп растительных сообществ. При $K_c = 0$ структура растительного покрова рассматриваемых высотных ступеней кардинально различается, при $K_c = 1$ — идентична.

Выявление степени сходства пространственных неоднородностей растительного покрова высотных ступеней осуществлялось для северного и южного макросклонов массива с помощью кластерного анализа методом «ближайшего соседа». Аналогично проводился анализ распределения типологических групп растительных сообществ по локальным экспозициям и выделенным типам местоположений, определяемых однородностью мезоформ рельефа, составом подстилающих пород, и режимом миграции вещества и влаги [6], а также генезисом поверхностных отложений.

Для количественной оценки степени мозаичности растительного покрова использовалась мера разнообразия H_i , подсчитанная отдельно для каждого макросклона массива:

$$H_i = \sum_1^n P_i \log_2 P_i, \quad (2)$$

где P_i — доля площади определенной группы растительных сообществ в рассматриваемом 200-метровом высотном интервале массива/типе местоположения, n — число высотных интервалов/типов местоположений.

Нормирование рассчитанных значений H_i и получение частного суммарного значения для каждой группы растительных сообществ по всем высотным интервалам и двоичного логарифма числа рассматриваемых интервалов позволило провести оценку меры разнообразия растительного покрова на выделенных типах местоположений. Сравнение биномиальных распределений по методу Вальда [10] позволило выявить обусловленность особенностей формирования растительного покрова высотными и эдафическими факторами. Высота рассматривалась как интегральный показатель климатических условий.

При оценке степени обусловленности распределения групп растительных сообществ сочетанием рассматриваемых факторов использовался критерий χ^2 , рассчитанный по формуле:

$$\chi_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - P)^2}{P}, \quad (3)$$

где P_i — доля площади определенной группы растительных сообществ от общей площади высотной ступени, P — доля общей площади группы растительных сообществ на рассматриваемом макросклоне массива.

Для количественной оценки вклада факторов в общее ландшафтное разнообразие вычислялась мера обусловленности распределения групп сообществ X , как сумма средневзвешенных показателей χ^2 по формуле:

$$X = \sum_1^n \chi^2 \frac{S_i}{S}, \quad (4)$$

где S_i — площадь группы растительных сообществ на каждом типе местоположения в пределах одного макросклона массива, S — площадь рассматриваемого макросклона, n — число градаций признаков.

Обоснование приоритетности проявления того или иного фактора формирования конкретной группы растительных сообществ проводилось путем сравнения рассчитанных отклонений мер обусловленности (как разность между значениями X по высоте и по типам местоположений).

Оценка меры ландшафтного разнообразия для каждой высотной ступени массива осуществлялась с помощью показателя энтропии [10].

Для выявления степени климатической обусловленности формирования геосистем было проведено моделирование полей пространственного распределения основных метеовеличин по методике, разработанной и апробированной в условиях горного и горно-котловинного рельефа [21]. Основой моделирования, помимо непрерывных многолетних рядов данных (1963—2012 гг.) ближайшей к массиву метеостанции Мугур-Аксы (1830 м), послужили данные сезонных полевых наблюдений, полученные на массиве (на абсолютных высотах 2260, 2620, 3140 м), а также цифровая модель рельефа. В каждой точке цифровой модели рассчитывались значения среднелетней температуры воздуха с учетом полученных ранее значений склонового термического градиента для летнего сезона, равного -0.69 °C на 100 м, а также значения сумм летних осадков с применением двух вертикальных градиентов: 7 мм/100 м для высот ниже 2200 м и 12 мм/100 м — для высот более 2200 м [3]. Наложение полей пространственного распределения расчетных значений среднелетней температуры воздуха и суммарного количества осадков за лето на ландшафтную карту позволило выявить климатические ниши геосистем, т. е. те диапазоны климатических характеристик, в которых их встречаемость наибольшая.

На основе сопоставления ландшафтной карты массива, космических снимков и цифровой модели рельефа были выявлены типы контактов растительных сообществ, характерные для рассматриваемого экотона.

Индексация почвенных горизонтов и классификация почв даны на основании подходов [9]. Латинские названия сосудистых растений приведены по сводке С. К. Черепанова [20].

Результаты. Всего на ландшафтной карте, охватывающей территорию площадью более 1500 км², было выделено более 1000 таксонов ранга групп фаций, иногда урочищ. Для количественного анализа высотного распределения геосистем растительные сообщества, выделенные в ходе полевых работ, были объединены в 10 групп (далее в тексте и на иллюстрациях отмечены арабскими цифрами); отдельно рассматривались снежно-ледовые образования массива и гольцы, преимущественно лишенные растительности. На территории массива выделено 13 типов местоположений: каменистые склоны гравитационного сноса, пологие склоны, денудационные среднекрутые склоны, аккумулятивные склоны, современные морены, стадияльные вюрмские

западинные и грядовые морены, вюрмские морены периода максимума оледенения, морены рисского оледенения, поверхности выравнивания, цокольные педименты, ложбины, западины, дренируемые высокие речные террасы. Корректность выделения типов местоположений в выбранном масштабе подтверждена совпадением контуров при наложении соответствующего тематического слоя GIS на цифровую модель уклонов. Это важно при анализе условий формирования геосистем и моделировании их потенциальных трансформаций, поскольку характеристики типа местоположения позволяют косвенно учесть поверхностный сток.

Центральная высокогорная часть массива отличается развитым горным оледенением площадью чуть более 20 км². Выше 3200 м доминируют гольцовые геосистемы общей площадью около 100 км², где почвенно-растительный покров развит фрагментарно и представлен криопетрофитными и криоксерофитными группировками (*Waldheimia tridactylites*, *Saxifraga oppositifolia*, *S. melaleuca*, *Crepis nana*, *C. chrysanta*, *Leiospora exscapa*, *Sibbaldia tetrandra*, *Draba alpina* и др.) на слаборазвитых криоземах и литоземах (глубина залегания многолетней мерзлоты в среднем составляет 0.3—0.4 м).

Тундровые геосистемы занимают почти треть площади массива. На наиболее высоких гипсометрических уровнях (более 2600 м) на поверхностях выравнивания распространены *кобрезиевые пустоши* (1) с доминированием *Kobresia myosuroides*, характеризующиеся общей бедностью видового состава. Почвы представлены криоземами грубогумусированными и литоземами. В переувлажненных местоположениях в составе криофитно-разнотравных кобрезников присутствуют осоки. Около 40 % площади всех тундровых сообществ занимают *дриадовые тундры* (2). Содоминантами стелющегося кустарничка *Dryas oxyodonta* в зависимости от щебнистости и морозобойной трещиноватости поверхности являются кобрезии, различные виды осок и лишайников. Также в сообществах встречаются криофитные виды разнотравья, приспособленные к резким перепадам температур и неглубокому оттаиванию мерзлоты (*Bistorta viviparum*, *Papaver nudicaule*, *Pedicularis uliginosa* и др.). В почвенном покрове преобладают криоземы перегнойные и глееватые.

К группе *мохово-ерниковых тундр* (3) были отнесены сообщества с выраженным преобладанием *Betula rotundifolia*, зеленых и политриховых мхов в напочвенном покрове и с участием в травостое *Festuca ovina*, *Poa altaica*, нескольких видов рода *Carex*, *Bistorta viviparum*, *Thalictrum alpinum*, *Empetrum nigrum* и др. Почвы представлены криоземами и глееземами. *Травяные (разнотравно-осоковые) тундры* (4) приурочены к переувлажненным понижениям и западинам, например к днищам троговых долин. В зависимости от степени заболачивания среди доминантов могут быть *Carex melanantha*, *C. orbicularis*, *C. sempervirens*, *C. stenocarpa*, *Eriophorum polystachion* и др. Почвы представлены преимущественно глееземами.

Альпийские (альпинотипные) луга (5) распространены фрагментарно и в основном приурочены к склонам южной экспозиции. Сообщества имеют сомкнутый покров, в котором преобладают *Saxifraga sibirica*, *Draba sibirica*, *Aster alpinus*, *Trollius asiaticus*, *Dracocephalum grandiflorum*, *Gentiana grandiflora*, различные виды осок. Почвенный покров представлен литоземами темногумусовыми и перегнойными. *Кобрезники* (6) с доминированием *Kobresia myosuroides* сочетаются с криофитно-разнотравными осочниками в более увлажненных местообитаниях (с доминированием *Carex melanantha*). В почвенном покрове преобладают серогумусовые (дерновые) почвы.

Злаково-разнотравные (7), местами закустаренные, луга характеризуются большим разнообразием разнотравья и злаков (*Festuca ovina*, *F. kryloviana*, *Poa altaica*, *Galium verum*, *Bistorta viviparum*, *Dracocephalum grandiflorum*, *Sajanella monatrosa*, *Tephroseria praticola*, *Campanula rotundifolia*, *Potentilla gelida* и др.), а также наличием кустарников и кустарничков (*Betula rotundifolia*, *Juniperus pseudosabina*, *Spiraea alpina*, *S. media*, *Salix reticulata*, *S. glauca*). В почвенном покрове преобладают слаборазвитые и перегнойные почвы.

Леса массива, не образуя сплошного пояса, занимают около 40 км² в его северной части в интервале высот 2000—2400 м. Основная часть лесных массивов представлена *лиственничниками разнотравными*. Для них характерны высокая (до 40 %) сомкнутость древостоя при средней высоте деревьев 15—16 м и видовое разнообразие в кустарниковом (*Lonicera altaica*, *L. hispida*) и травяно-кустарничковом ярусе (*Poa altaica*, *Festuca ovina*, *Ranunculus grandiflorus*, *Trollius asiaticus*, *Geranium sylvaticum*, *Polemonium caeruleum*, *Atragene sibirica*, *Swertia obtusa*), а также участие тундровых видов (*Dryas oxydonta*, *Papaver nudicaule*). В среднем до 2500 м поднимаются *лиственничники дриадово-ерниковые* (8) с разреженным невысоким древостоем (проективное покрытие не превышает 30 %) и значительным участием в кустарниковом ярусе, кроме доминирующей *Betula rotundifolia*, *Lonicera altaica*, *Juniperus sabina*, нескольких видов *Salix*. На высоте около 2000 м в напочвенном покрове значительно участие среди бореального разнотравья степных видов (*Artemisia tanacetifolia*, *Eritrichium pectinatum*, *Pentaphylloides fruticosa*, *Potentilla pensylvanica*). В поймах рек распространены заросли нескольких видов рода *Salix* (9), где в напочвенном покрове содоминантами *Equisetum fluviatile* являются *Setaria pumila*, *Artemisia palustris*, *Geranium sylvaticum*, *Oxytropis deflexa*.

Степи занимают около трети площади массива и распространены от подножий до высоты 2800 м. Наибольшие площади занимают *разнотравно-злаковые степи* (10) (более 300 км²). Среднее проективное покрытие травостоя обычно составляет 30 %, и помимо преобладающих злаков (*Festuca valesiaca*, *F. kryloviana*, *Setaria viridis*, *Poa attenuata* и др.) в структуре растительного покрова значительная роль принадлежит разнотравью (*Erigeron krylovii*, *Aster alpinus*, *Potentilla astragalifolia*, *Eritrichium altaicum*, *Saxifraga bronchialis*, *Oxytropis* sp., *Astragalus* sp. и др.). *Полынные степи* (11) практически не поднимаются выше уровня 2600 м. Видовой состав ассоциации устойчив: среди доминирующих видов *Artemisia depauperata*, *Festuca lenensis*, *Ephedra fedtschenkoae*, встречаются *Festuca valesiaca*, *Goniolimon tataricum*, *Astragalus tscharynensis*, *A. laguroides*, *Eritrichium villosum*. Наименьшие площади (менее 15 км²) среди степей занимают *кустарниковые степи* с преобладанием представителей родов *Caragana*, *Berberis*, *Dasiphora fruticosa*, полукустарничковыми *полынями*; также в травостое встречаются *Eritrichium sajanense*, *Androsace lehmanniana*, *A. dasyphylla*, *Stellaria petraea*, *Alyssum obovatum*, *Clausia aprica*, *Orostachys spinosa*, *Potentilla astragalifolia*, *Saxifraga spinulosa* и др.

Кластерный анализ ландшафтной структуры массива показал отсутствие ярко выраженных отличий в структуре соседних высотных интервалов: в диапазоне 2400—3000 м над ур. м. К_с не менее 0.9. В целом в интервале 2000—2800 м набор геосистем на северном макросклоне сходен с таковыми на южном с разницей в 200—400 м.

В нижней части массива (до 2000 м на северном, 2400 м на южном макросклонах) прослеживается горно-степной высотный пояс. Так, в интервале

1800—2000 м северного макросклона массива порядка 70 % площади занимают различные типы степных сообществ. Структура растительного покрова высокогорья проста: выше 3000 м на северном макросклоне фрагментарно встречаются в основном кобрезиевые пустоши, а на южном на высотах 3000—3200 м распространены также и дриадовые тундры. Кроме того, выше 2800 м отмечается высокая степень сходства структуры растительного покрова северного и южного макросклонов, поскольку экспозиционные различия на этих высотах становятся несущественными.

Для детализации климатических условий формирования групп растительных сообществ были наложены поля пространственного распределения расчетных значений температуры и осадков на ландшафтную карту, что позволило выявить диапазоны климатических характеристик, в которых встречаемость геосистем наибольшая/наименьшая. Плотное пересечение климатических ниш геосистем, свидетельствующее о равновероятном развитии и совместном существовании сообществ разных экологических групп видов в сходных климатических условиях, иллюстрирует отсутствие выраженных доминирующих сообществ в высотном интервале 2200—2800 м и делает возможным выделение в этом интервале экотонной полосы (рис. 2).

Оценка мозаичности растительного покрова показала, что наименьшими значениями меры разнообразия по типам местоположений ($H_i < 0.7$) характеризуются следующие группы растительных сообществ, приуроченные к определенным местоположениям: кобрезники (на высоко- и среднегорных поверхностях выравнивания и на пологих склонах делювиального сноса), лиственничные массивы (на среднекрутых склонах делювиального сноса с сильным эрозионным расчленением) и кустарниковые степи (на холмистовувалистых моренах рисского оледенения и на холмисто-западных вюрмских моренах). Наибольшими значениями меры разнообразия характеризуются злаково-разнотравные луга и полынные степи, которые встречаются на 7 из 13 выделенных типов местоположений ($H_i > 2.3$). Значительного высотного размаха (до 800 м) достигают интервалы распространения кобрезиевых пустошей, дриадовых тундр, кобрезников и злаково-разнотравных лугов, разнотравно-злаковых степей. Самыми узкими интервалами высот и соответственно климатическими нишами характеризуются травяные осоковые тундры, приуроченные к днищам троговых долин на высотах 2400—2600 м, и пойменные ивняки, занимающие переувлажненные террасы и поймы ниже 2000 м.

Наибольшим разнообразием отличается ландшафтная структура интервала высот 2400—2800 м, где расчетные значения среднелетней температуры воздуха составляют 6—10 °С, а суммы летних осадков — 100—200 мм и наблюдаются максимальные величины облачности. Очевидное доминирование геосистем (степных) прослеживается только на высотах 2000—2200 м, что примерно соответствует температуре воздуха 10—12 °С.

Согласно нашим оценкам, преимущественно климатическим фактором обусловлено распространение дриадовых тундр и разнотравно-злаковых степей. В то же время, распространение злаково-разнотравных лугов, пойменных ивняков и кустарниковых степей в большей мере определяется влиянием местоположений.

Следует отметить, что достоверно ведущий фактор распространения был выявлен не для всех сообществ. Так, например, лиственничные леса и кобрезники характеризуются наименьшими значениями отклонений меры разнообразия ($X < 0.05$), поскольку приурочены преимущественно к определенным

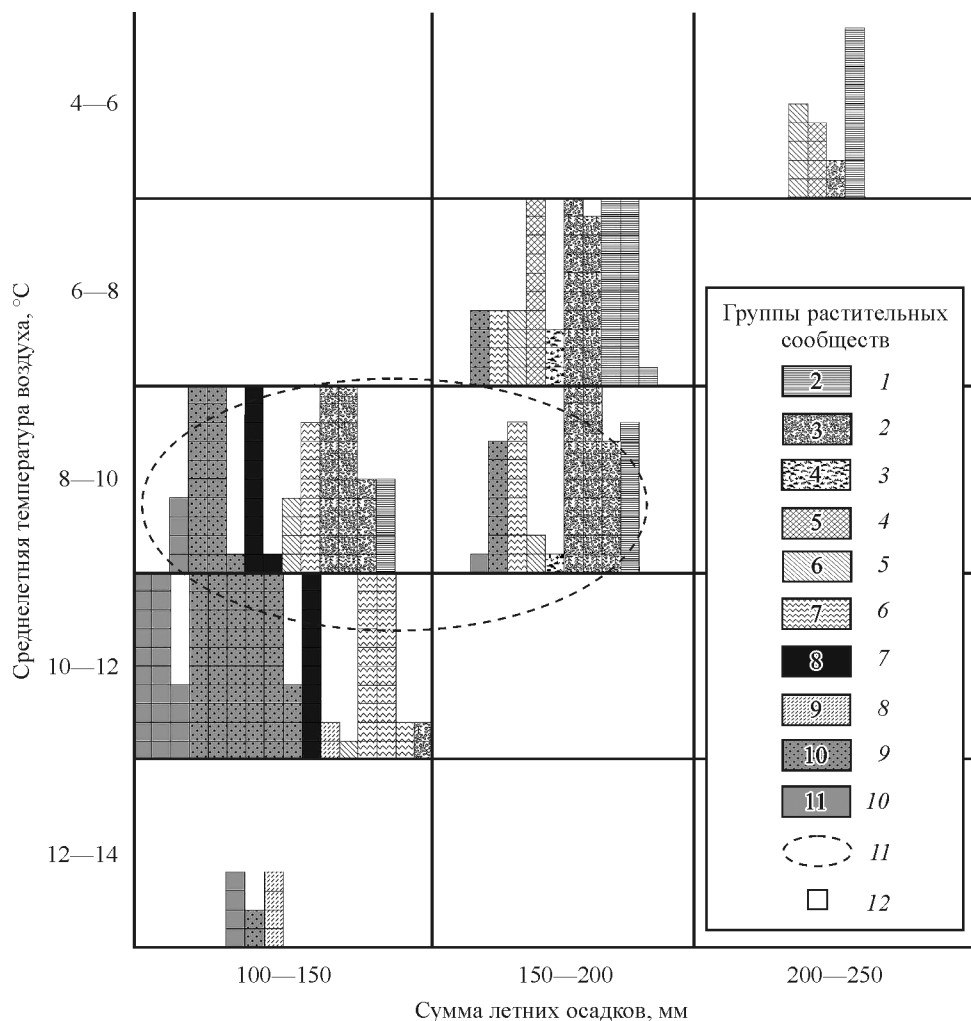


Рис. 2. Распределение площадей групп растительных сообществ северного макросклона массива Монгун-Тайга в зависимости от сочетаний климатических условий.

1 — дриадовые тундры, 2 — мохово-ерниковые тундры, 3 — травяные (разнотравно-осоковые) тундры, 4 — разнотравные альпийские луга, 5 — кобрезники, 6 — злаково-разнотравные луга, 7 — лишайничники, 8 — пойменные ивняки, 9 — разнотравно-злаковые степи, 10 — полынные степи, 11 — экотонная полоса, 12 — 2 км². Номера в прямоугольниках соответствуют номерам в тексте и на рис. 3, 4.

формам рельефа и к сравнительно узкому диапазону значений температуры воздуха. В целом показано, что чем ниже чувствительность групп растительных сообществ к одному из рассматриваемых факторов, тем выше она к другому фактору.

Обсуждение. Свойственное горным территориям разнообразие эдафических условий вследствие частой резкой смены уклонов, экспозиций, свойств и мощности подстилающих пород, режимов миграции вещества и прочее в областях экотонов достигает своего максимума. Именно в экотонах проявление высотных изменений физико-географических условий обостряется сменой климатических областей и тектонических структур [11].

Территория массива Монгун-Тайга, где на фоне высокой степени мозаичности растительного покрова гетерогенные элементы находятся в условном равновесии, представляет собой яркий пример экотона. Схожесть структуры растительного покрова соседних высотных ступеней подтверждена близкими значениями интегральных показателей встречаемости: на некоторых высотных ступенях в интервале высот 2200—2800 м распределение горно-тундровых, горно-луговых и горно-степных геосистем практически равномерное. Ранее было показано, что отсутствие выраженных доминантов в растительном покрове затрудняет выделение отдельных высотных поясов [2].

По результирующим показателям меры обусловленности X можно уверенно сказать, что в формировании комплексной ландшафтной структуры массива ведущую роль играют свойства местоположений, что наиболее ярко проявляется в наличии видов растений мезо- и гигрофильного ряда на фоне высотно обусловленных крио-ксерофитов. Так, например, на волнистых поверхностях вюрмской морены на высотах 2400—2800 м преобладают кобрезиево-дриадовые тундры, а в интервале 2000—2400 м — злаково-полянныи степи. В то же время вне зависимости от высотного интервала в локальных понижениях и западинах формируются луговые геосистемы, распространение которых обусловлено дополнительным увлажнением почв вследствие сезонного таяния снежников.

В горах Южной Сибири выделяют несколько структурных типов экотонных полос, отличающихся по характеру контакта между сообществами и синузиями [5]. На территории массива наиболее отчетливо проявляются следующие типы структур: с резкими, куртинно-линейными и диффузными границами.

Так, на днищах обращенных к югу троговых долин (реки Толайты, Орта-Шегетей) конечно-моренные перемычки препятствуют стоку рек, в результате чего широкие долины оказываются переувлажненными, формируются травяные разнотравно-осоковые заболоченные тундры (4). Границы распространения сообществ гидроморфного ряда в условиях явно недостаточного атмосферного увлажнения четко совпадают с контурами местоположения плоского днища троговой долины (рис. 3). Отметим, что дополнительным источником увлажнения на днище троговой долины служит неглубокое залегание многолетней мерзлоты.

Контакт растительных сообществ с куртинно-линейными границами наиболее ярко представлен в ложбинах и эрозионных долинах. Дополнительное увлажнение здесь обусловлено поверхностным стоком и накоплением снега. Так, линейно вытянутые очертания криомезофильных дриадовых сообществ (2) соответствуют верхушкам моренных гряд, с которых зимой сдувается снег, а форма контуров, занятых лиственничниками (8), — ложбинам (рис. 4). Наличие дополнительного увлажнения за счет оттаивания деятельного горизонта (в течение всего вегетационного периода мощный моховой покров остается влажным) способствует формированию в западинах ерников, однако на наветренных северо-западных и западных склонах крайне неблагоприятные зимние условия (экстремально низкие температуры, сильный ветер, маломощный снежный покров вследствие выдувания) приводят к массовому вымерзанию взрослых высокорослых ерников. Добавим, что развитие мхов в напочвенном покрове сообществ более влажных участков обуславливает понижение значений pH и более интенсивное преобразование минералогического состава почв [22].

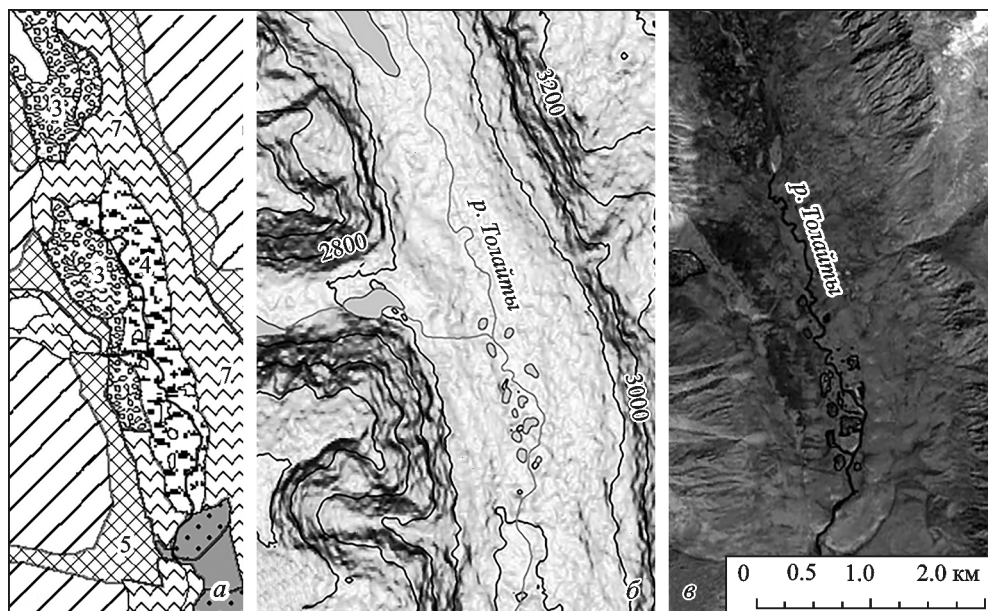


Рис. 3. Пример контакта групп растительных сообществ с резкими границами.

а — фрагмент ландшафтной карты, *б* — цифровая модель рельефа, *в* — космоснимок. Нумерация на карте приведена в соответствии с легендой рис. 2.

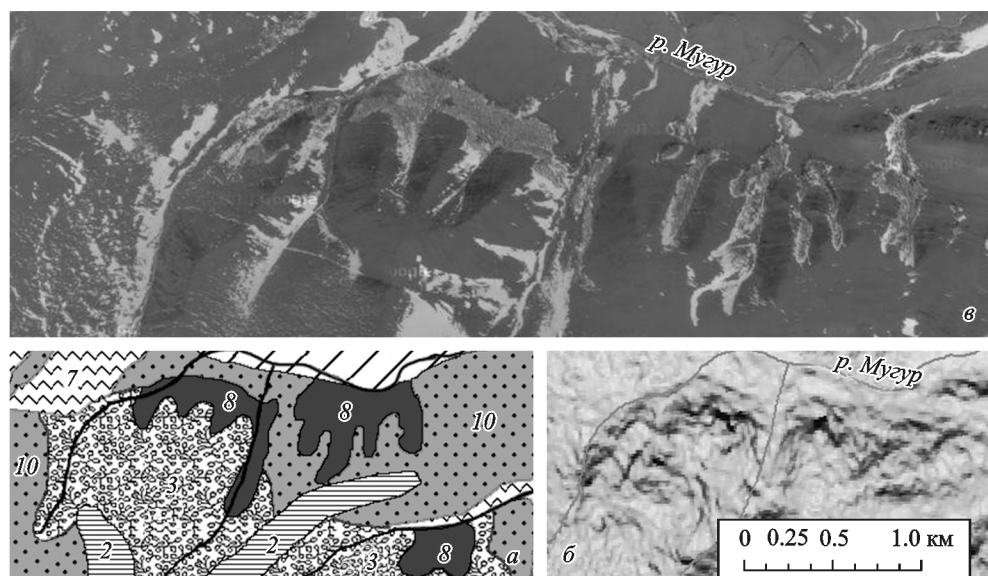


Рис. 4. Пример контакта групп растительных сообществ с куртинно-линейными границами.

а — фрагмент ландшафтной карты, *б* — цифровая модель рельефа, *в* — космоснимок. Нумерация на карте приведена в соответствии с легендой рис. 2.

Наиболее часто в пределах экотонной полосы рассматриваемого массива на различных высотных уровнях и вне зависимости от типа рельефа выражен так называемый диффузный тип контакта сообществ, для которого характерны постепенные их смены в пространстве, отсутствие четко выраженных границ территориальных единиц, наложение их специфических черт и увеличение видового разнообразия сообществ. Н. И. Макунина [13] также отмечает, что на Юго-Восточном Алтае и юго-западе Тувы в диапазоне высот от 2100 до 2400 м над ур. м. луговые и дерновиннозлаковые степи обогащены криофильными видами.

Увеличение доли степных видов в составе высокогорных лугов, явные процессы опустынивания степей на южном макросклоне при низком уровне антропогенной нагрузки можно считать индикаторами наметившейся тенденции к аридизации. Почвы участков с выраженными признаками остепнения близки к почвам холодного гумидного и семигумидного ряда, но они отличаются меньшей влажностью криотурбированного горизонта в криоземах и большей выраженностью серогумусового (дернового) горизонта [12]. Однако изменение соотношения тепла и влаги в течение последних пятидесяти лет не представляется достаточно значимым для смены инварианта ландшафтов. «Абсолютизация» роли климатического фактора в процессе формирования ландшафтов может привести к некорректной оценке возможных изменений ландшафтной структуры, связанных с прогнозируемыми климатическими колебаниями. В подобных прогнозах следует учитывать не только чувствительность отдельных компонентов ландшафта к воздействию природных факторов, но и проявление таких специфических свойств системы, как эмерджентность и инертность [23]. Понимание механизма отклика системы на разнообразные внешние воздействия позволит адекватно оценивать устойчивость природной среды при разработке концепции устойчивого развития территории.

Выводы

Совместное проявление различных факторов ландшафтогенеза определяет формирование экотонной полосы во внутриконтинентальном аридном секторе. Характерная особенность ландшафтной структуры массива Монгун-Тайга, расположенного на стыке широтных зон степей и полупустынь и долготно-климатических секторов с континентальным и резко-континентальным климатом, заключается в наличии выраженных высотных поясов (горно-степной, гольцовый, гляциально-нивальный) с очевидными доминантами в растительном покрове только у подножия массива и в верхней его части, между которыми в высотном диапазоне 2200—2800 м над ур. м. сформировалась обширная полоса экотона. Специфика данной полосы состоит в комплексном примерно равном сочетании сообществ мезо-, ксеро- и криофитных экологических групп видов растений, существующих в сходных климатических условиях.

При высокой степени мозаичности растительного покрова, обусловленной преимущественно контрастностью геоморфологических условий, в полосе экотона преобладает диффузный тип контакта различных растительных сообществ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-05-06611а) и Санкт-Петербургского государственного университета (проект 18.38.418.2015).

Список литературы

- [1] Береснева И. А. Климаты аридной зоны Азии. М.: Наука, 2006. 287 с.
- [2] Гаврилкина С. А., Зелепукина Е. С., Резников А. И., Чистяков К. В. Высотная структура ландшафтов высокогорного массива Монгун-Тайга // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2014. Т.16, № 1(4). С. 1063—1072.
- [3] Горный массив Монгун-Тайга / Ред. К. В. Чистяков. СПб.: Арт-Экспресс, 2012. 310 с.
- [4] Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М., 1985. 208 с.
- [5] Зибзеев Е. Г., Седельников В. П. Структура экотона между лесным и высокогорным поясами гор Южной Сибири // Растительный мир азиатской России. 2010. № 2 (6). С. 46—49.
- [6] Исаченко Г. А., Резников А. И. Динамика ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России. СПб., 1996. 166 с.
- [7] Камелин Р. В. Материалы по истории флоры Азии (Алтайская горная страна). Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 1998. 240 с.
- [8] Карта «Биомы России» (м. 1: 7 500 000) в серии карт природы для высшей школы / Г. Н. Огуреева, Н. Б. Леонова, Л. Г. Емельянова и др. М: ООО «Финансовый и организационный консалтинг», 2015.
- [9] Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- [10] Кокс Д. Прикладная статистика. Принципы и примеры. М.: Мир, 1984. 200 с.
- [11] Коломыц Э. Г. Эволюционные биосферные процессы на тихоокеанском мегаэктоне северной Евразии // Общие проблемы экологии. 2014. Т. 16, № 1—1. С. 9—18.
- [12] Лесовая С. Н., Горячкин С. В. Криогенные почвы высокогорий Алтая: морфология, минералогия, генезис, проблемы классификации и связь с почвами полярных областей // Криогенные ресурсы полярных регионов. Междунар. конф.: материалы. 2007. С. 96—99.
- [13] Макунина Н. И. Горная лесостепь Юго-Восточного Алтая и Юго-Западной Тувы // Растительность России. 2014. № 24. С. 86—100.
- [14] Огуреева Г. Н. Ботаническая география Алтая. М.: Наука, 1980. 189 с.
- [15] Ревякин В. С. Природные льды Алтае-Саянской горной области (внутриконтинентальный вариант гляциосферы Земли). Л.: Гидрометеиздат, 1981. 288 с.
- [16] Селиверстов Ю. П. Современное оледенение массива Монгун-Тайга (Внутренняя Азия) и ороклиматические условия его существования // МГИ. Вып. 82. М.: Наука, 1997. С. 33—42.
- [17] Соболевская К. А. Растительность Тувы. Новосибирск, 1950. 140 с.
- [18] Сочава В. Б. Пределы лесов в горах Ляпинского Урала // Тр. Ботан. музея АН СССР. 1930. Т. 22. С. 1—42.
- [19] Юнатов А. А. Основные черты растительного покрова Монгольской Народной Республики // Труды Монгольской комиссии. Вып. 39. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
- [20] Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
- [21] Чистяков К. В., Москаленко И. Г., Зелепукина Е. С. Климат Убсунурской впадины: пространственная модель // Изв. РГО. 2009. Т.141, вып.1. С. 44—61.
- [22] Sumina O. I., Lessovaia S. N. Clay minerals in the loose substrate of quarries affected by vegetation in the cold environment (Siberia, Russia) // Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Lecture Notes in Earth System Sciences. Switzerland, 2016. С. 249—259.
- [23] Theurillat J.-P. et al. Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change//Views from the Alps: Regional perspectives on climate change. Cambridge (Mass.): MIT press, 1998. P. 225—308.

[24] United States Geological Survey [Электронный ресурс]: Геологическая служба США — цифровая модель Aster Global DEM. Режим доступа: <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (дата обращения 04.12.2015).

Поступило в редакцию
19 июля 2017 г.

Landscape structure of mountain ecotone belt in the Mongun-Taiga massif

© E. S. Zelepukina,¹ S. A. Gavrilkina,² S. N. Lessovaia,³ O. V. Galanina⁴

Saint Petersburg state university, Saint Petersburg

E-mail: ¹ e.zelepukina@spbu.ru

² s.gavrilkina@spbu.ru

³ s.lesovaya@spbu.ru

⁴ o.galanina@spbu.ru

Original mesoscale landscape map (1:100 000) based on fieldwork data served the basis for an analysis of altitudinal structure of the Mongun-Taiga massif (3970.5 m above sea level) located in arid sector of Inner Asia. Characteristics of main types of soil and plant communities are presented.

The results of cluster analysis showed that there is a high similarity of landscape structure of the altitudinal levels in the range of altitudes 2400—2800 m. It's allowed to mark out the ecotone altitudinal belt between mountain steppe and glacio-nival belts. The ecotone patterns description was obtained. It should be noted that the revealed Mongun-Taiga ecotone is characterized by approximately equal combination of mesophytic, xerophytic and cryophytic plant associations.

It was revealed by the quantitative estimation of the landscape-forming factors and statistical methods that geology-geomorphological characteristics have the priority impact on soil and plant cover formation.

In order to take into account the influence of climate on the formation of the landscape of the study area, the simulation of temperature and precipitation spatial distribution was done using high resolution digital terrain models. Such a model is an inevitable part of analysis taking into account that network of meteorological stations is very rare. It was shown that in similar climate conditions edaphic factors have the prime importance in landscape structure genesis.

The main contacts of ecotone vegetation patterns were considered. The prevalence of diffusive contact in arid high mountain of Mongun-Taiga was revealed.

Key words: ecotone belt, landscape-forming factors, vegetation patterns and their contacts, arid high mountains, landscape structure, Altai-Sayan region, mosaic structure.

References

- [1] Beresneva I. A. *Klimaty aridnoj zony Azii*. M.: Nauka, 2006. 287 s.
- [2] Gavrilkina S. A., Zelepukina E. S., Reznikov A. I., Chistjakov K. V. *Vysotnaja struktura landshaftov vysokogornogo massiva Mongun-Tajga* // *Izv. Samarskogo nauch. centra RAN*. 2014. T.16, N 1(4) S. 1063—1072.
- [3] *Gornyj massiv Mongun-Tajga* / Red. K. V. Chistjakov. SPb: Art-Jekspress, 2012. 310 s.
- [4] Gorchakovskij P. L., Shijatov S. G. *Fitoindikacija uslovij sredy i prirodnyh processov v vysokogor'jah*. M., 1985. 208 s.
- [5] Zibzeev E. G., Sedel'nikov V. P. *Struktura jekotona mezhdru lesnym i vysokogornym pojasami gor Juzhnoj Sibiri* // *Rastitel'nyj mir aziatskoj Rossii*. 2010. N 2 (6). S. 46—49.

- [6] *Isachenko G. A., Reznikov A. I.* Dinamika landshaftov tajgi Severo-Zapada Evropejskoj Rossii. SPb., 1996. 166 s.
- [7] *Kamelin R. V.* Materialy po istorii flory Azii (Altajskaja gornaja strana). Barnaul: Izd-vo Altajskogo gos. un-ta, 1998. 240 s.
- [8] Karta «Biomj Rossii» (m. 1: 7 500 000) v serii kart prirody dlja vysshej shkoly / G. N. Ogureeva, N. B. Leonova, L. G. Emel'janova i dr. M.: OOO «Finansovyj i organizacionnyj konsalting», 2015.
- [9] Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 s.
- [10] *Koks D.* Prikladnaja statistika. Principy i primery. M.: Mir, 1984. 200 s.
- [11] *Kolomyc Je. G.* Jevoľucionnye biosfernye processy na tihoookeanskom megajekotone severnoj Evrazii // Obshhie problemy jekologii. 2014. T. 16, N 1—1. S. 9—18.
- [12] *Lesovaja S. N., Gorjachkin S. V.* Kriogennye pochvy vysokogorij Altaja: morfologija, mineralogija, genesis, problemy klassifikacii i svjaz' s pochvami poljarnyh oblastej // Kriogennye resursy poljarnyh regionov. Mezhdunarodnaja konferencija: materialy. 2007. S. 96—99.
- [13] *Makunina N. I.* Gornaja lesostep' Jugo-Vostochnogo Altaja i Jugo-Zapadnoj Tuvy // Rastitel'nost' Rossii. 2014. N 24. S. 86—100.
- [14] *Ogureeva G. N.* Botanicheskaja geografija Altaja. M.: Nauka, 1980. 189 s.
- [15] *Revjakin V. S.* Prirodnye l'dy Altae-Sajanskoj gornoj oblasti (vnutrikontinental'nyj variant gl'jaciosfery Zemli). L.: Gidrometeoizdat, 1981. 288 s.
- [16] *Seliverstov Ju. P.* Sovremennoe oledenenie massiva Mongun-Tajga (Vnutrennjaja Azija) i oroklimaticheskie uslovija ego sushhestvovanija // MGI. Vyp. 82. M.: Nauka, 1997. S. 33—42.
- [17] *Sobolevskaja K. A.* Rastitel'nost' Tuvy. Novosibirsk, 1950. 140 s.
- [18] *Sochava V. B.* Predely lesov v gorah Ljapinskogo Urala // Tr. botan. muzeja AN SSSR. 1930. T. 22. S. 1—42.
- [19] *Junatov A. A.* Osnovnye cherty rastitel'nogo pokrova Mongol'skoj Narodnoj Respubliki. // Trudy Mongol'skoj komissii. Vyp. 39. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1950.
- [20] *Cherepanov S. K.* Sosudistye rastenija Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelach byvshego SSSR). SPb., 1995. 992 s.
- [21] *Chistjakov K. V., Moskalenko I. G., Zelepukina E. S.* Klimat Ubsunurskoj vpadiny: prostranstvennaja model' // Izv. RGO. 2009. T. 141, vyp.1. S. 44—61.
- [22] *Sumina O. I., Lessovaia S. N.* Clay minerals in the loose substrate of quarries affected by vegetation in the cold environment (Siberia, Russia) // Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic. Systems Lecture Notes in Earth System Sciences. Switzerland, 2016. C. 249—259.
- [23] *Theurillat J.-P. et al.* Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change // Views from the Alps: Regional perspectives on climate change. Cambridge (Mass.): MIT press, 1998. P. 225—308.
- [24] United States Geological Survey (Aster Global DEM). <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (data obrashcheniya: 04.12.2015)