

## ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 912.43:581.9 (571.53):524.3

DOI: 10.15372/GIPR20220107

А.П. СОФРОНОВ\*, И.Н. ВЛАДИМИРОВ\*, В.И. ВОРОНИН\*\*, Е.В. СОФРОНОВА\*

\*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, alesofronov@yandex.ru, garisson@irigs.irk.ru, aronia@yandex.ru

\*\*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, Россия, bioin@sifibr.irk.ru

УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГЕОСИСТЕМ КОТЛОВИН  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИБАЙКАЛЯ К ПИРОГЕННОМУ ФАКТОРУ

*Изучение устойчивости растительности остается важным и слабо разработанным вопросом геоботаники. В статье представлены результаты изучения устойчивости к пирогенному фактору растительности Северобайкальской и Верхнеангарской котловин. В последние годы в Сибири, как и на территории страны в целом, пожары приобрели катастрофический характер, поэтому пирогенное воздействие стало одним из основных негативных антропогенных факторов. В работе предложена оригинальная методика определения параметров устойчивости растительности к пирогенному фактору, основанная на оценке горючести ценозообразующих видов. Всесторонне изучена восприимчивость к огню как отдельных видов растений, так и растительных ярусов ценозов, а также степень повреждения их пожарами, с учетом мезоклиматических условий и площадного распространения по территории. Установлено, что устойчивость сообществ может изменяться в зависимости от их иерархического ранга. В результате проделанной работы создана легенда и составлена среднемасштабная карта устойчивости растительности региона к пирогенному фактору. Выявлено, что наиболее устойчивыми сообществами являются разреженные высокогорные тундры, высокогорные луга, лугово-болотные сообщества поймы Верхней Ангары и влажные леса горных долин. К среднеустойчивым ценозам отнесены тундры водоразделов и покатых вершин с хорошо развитым кустарничково-лишайниковым покровом, разреженные сообщества кедрового стланика, мелколиственные леса, остепненные склоны и лесные сообщества поймы. Наименьшая степень устойчивости характерна для сомкнутых кедровостланиковых зарослей, подгольцовых темнохвойно-лиственничных редколесий, горно-таежных темнохвойных лесов, а также для сосновых лесов подгорно-котловинного пояса. Важной характеристикой устойчивости сообществ является длительность восстановления коренного (условно-коренного) состояния. Показано, что доступность природных сообществ для человека значительно влияет на устойчивость растительности к пирогенному фактору, поскольку это повышает вероятность возгорания в любом из рассмотренных ценозов.*

**Ключевые слова:** устойчивость растительности к пирогенному фактору, геоботаническое картографирование, Северобайкальская и Верхнеангарская котловины, лесные пожары.

A.P. SOFRONOV\*, I.N. VLADIMIROV\*, V.I. VORONIN\*\*, E.V. SOFRONOVA\*

\*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, alesofronov@yandex.ru, garisson@irigs.irk.ru, aronia@yandex.ru

\*\*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 132, Russia, bioin@sifibr.irk.ru

VEGETATION RESISTANCE OF GEOSYSTEMS IN THE DEPRESSIONS  
OF NORTHEASTERN CISBAIKALIA TO THE PYROGENIC FACTOR

*The study of vegetation stability remains an important and poorly developed issue of geobotany. Results from studying of resistance to the pyrogenic factor of plant communities of vegetation cover of the North Baikal and Upper Angara depressions*

are presented. In recent years, fires have become catastrophic in Siberia as well as on the territory of the country as a whole; therefore, the pyrogenic impact came to be one of the main negative anthropogenic factors. We suggest an original technique for determining the parameters of vegetation resistance to the pyrogenic factor, based on assessing the ignitability. The susceptibility to fire of both individual plant species and plant layers of cenoses, and also the degree of damage by fires have been comprehensively studied, with due regard for the mesoclimatic conditions and areal distribution throughout the territory. It was established that the resistance of the communities can vary according to their hierarchical rank. As a result of the research, a legend and a medium-scale map of the vegetation resistance in the region to the pyrogenic factor have been generated. It was revealed that the most stable communities are sparse alpine tundras, alpine meadows and meadow-swamp communities of the Upper Angara floodplain and wet forests of mountain valleys. The medium-stable cenoses include tundra watersheds and sloping summits with well-developed shrub-lichen cover, sparse communities of *Pinus pumila*, small-leaved forests, steppe slopes and forest communities of the floodplain. The smallest degree of stability is typical for closed *P. pumila* thickets, subgoletz dark coniferous-larch forests, mountain taiga dark coniferous forests, as well as for pine forests of the submontane-depression belt. An important characteristic of the stability of the communities is the duration of recovery of the primary (conventionally primary) state. It is shown that the accessibility of natural communities to humans significantly affects the resistance of vegetation to the pyrogenic factor, because this greatly increases the likelihood of fire in any of the cenoses considered.

**Keywords:** vegetation resistance to pyrogenic factor, geobotanical mapping, Northern Baikal and Upper Angara depressions, forest fires.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития биогеографических исследований характеризуется особым вниманием к проблемам геоботанического прогнозирования. Одним из центральных вопросов данной темы является устойчивость растительности как компонента геосистем [1–4]. Первый этап активизации изучения устойчивости геосистем и растительности пришелся на 1980-е гг. В работах М.Д. Гродзинского [2], А.Д. Арманда [5], В.С. Преображенского [6] были сформулированы основные теоретические положения теории устойчивости и намечены актуальные направления исследований. Известно, что растительность, будучи критическим компонентом, может выступать в качестве репрезентативного показателя устойчивости геосистем в целом [7].

Существуют различные определения понятия устойчивости [7, 8]. По мнению М.Д. Гродзинского, «определение устойчивости геосистемы приобретает конкретность, если указаны: фактор, по отношению к воздействию которого изучается устойчивость; временной интервал этого анализа; состояния или ряд состояний, пребывая в которых геосистема остается в рамках одного инварианта» [2, с. 5]. Это положение в полной мере относится и к устойчивости растительности, которую целесообразно рассматривать как реакцию сообщества на воздействие со стороны среды.

Некоторые ученые предлагают различать два основных аспекта устойчивости растительности: сопротивляемость (способность системы поддерживать — при воздействии извне — свою структуру и функции без существенных нарушений) и упругость (способность восстанавливать структуру и функции после нарушения) [8].

Главной чертой устойчивости растительности является ее способность сохранять в активной форме (поддерживать или в случае нарушения восстанавливать) собственную флороценоотическую структуру и режимы функционирования при воздействии внешних, большей частью антропогенных факторов. В данном случае формы и степени устойчивости определяются в рамках их эпитахсонов (эпиассоциаций и эпиформаций), а главным признаком выступает сохранение инварианта, сложившегося в ходе эволюции геосистемы.

При изучении устойчивости растительных сообществ возникает необходимость выделения конкретных деструктивных факторов, по отношению к которым изучается устойчивость растительности. В качестве естественных факторов могут выступать такие типы воздействия, как паводки (наводнения), сели, лавины, эрозионные процессы и т. д., а в качестве антропогенных — пожары, рубки, добыча полезных ископаемых и др. Наиболее распространенным фактором, нередко оказывающим катастрофическое воздействие на растительные сообщества, является пирогенный [9–12]. В последние годы в Сибири в целом и в Прибайкалье в частности в летние периоды наблюдается очень сложная пожарная обстановка, связанная, по всей видимости, в первую очередь с глобальными изменениями климата. Только в границах центральной экологической зоны Байкальской природной территории с 15 июня по 15 сентября 2015 г. от пожаров пострадало более 500 тыс. га [13]. Во всей же Байкальской Сибири пожарами были охвачены значительно большие территории. Очевидно, что изучение пирогенной устойчивости является актуальной задачей.

С 2009 г. Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (Иркутск) ведутся комплексные крупномасштабные исследования растительного покрова на территории Северного Прибайкалья (в пределах

Северобайкальской и Верхнеангарской котловин) [14, 15]. Цель данной работы — оценка устойчивости растительных сообществ котловин Северо-Восточного Прибайкалья к пирогенному фактору, которая станет основой для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования в регионе.

Анализ литературных источников, посвященных изучению лесных пожаров, показал, что наиболее часто при исследовании роли лесных пожаров используются термины «пожарная опасность» или «природная пожарная опасность» [16]. Однако данные понятия расплывчаты в качестве определения и часто отражают только прикладное (лесохозяйственное) значение природных пожаров (одно из определений пожарной опасности — «вероятность возникновения горения в природных условиях, наносящего ущерб людям» [16]), в отличие от фундаментального понимания распространения пирогенного фактора в естественной среде и устойчивости растительных сообществ к нему.

Устойчивость растительных сообществ геосистем к пожарам — важная характеристика, которая обязательно должна учитываться при разработке конкретных предложений по оптимизации природопользования, прогнозе влияния хозяйственной деятельности на изменения условий природной среды, вызывающих ухудшение нормальных условий жизнедеятельности, истощение или утрату природных ресурсов, снижение или утрату средо- и ресурсоформирующих свойств геосистем и, соответственно, их экологического потенциала [17].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Основное внимание настоящего исследования направлено на растительный покров двух крупных сопряженных морфоструктур Байкальской рифтовой зоны — Северобайкальской и Верхнеангарской котловин (рис. 1).

Климат района исследования резко континентальный. Лето короткое, зима продолжительная и морозная. Количество осадков колеблется от 400 мм/год в предгорьях и на днищах котловин до 1000 мм/год в горах. Вся территория исследования расположена в зоне распространения многолетней мерзлоты [18].

Горный характер рельефа обуславливает поясную структуру растительного покрова обрамления котловин [14, 15, 19]. Высокогорная растительность развивается на высотах от 1300–1500 м над ур. моря, где места обитания представлены скалистыми гребнями и каменистыми россыпями. Несмотря на некоторое физиономическое однообразие, растительный покров высокогорий имеет достаточно слож-

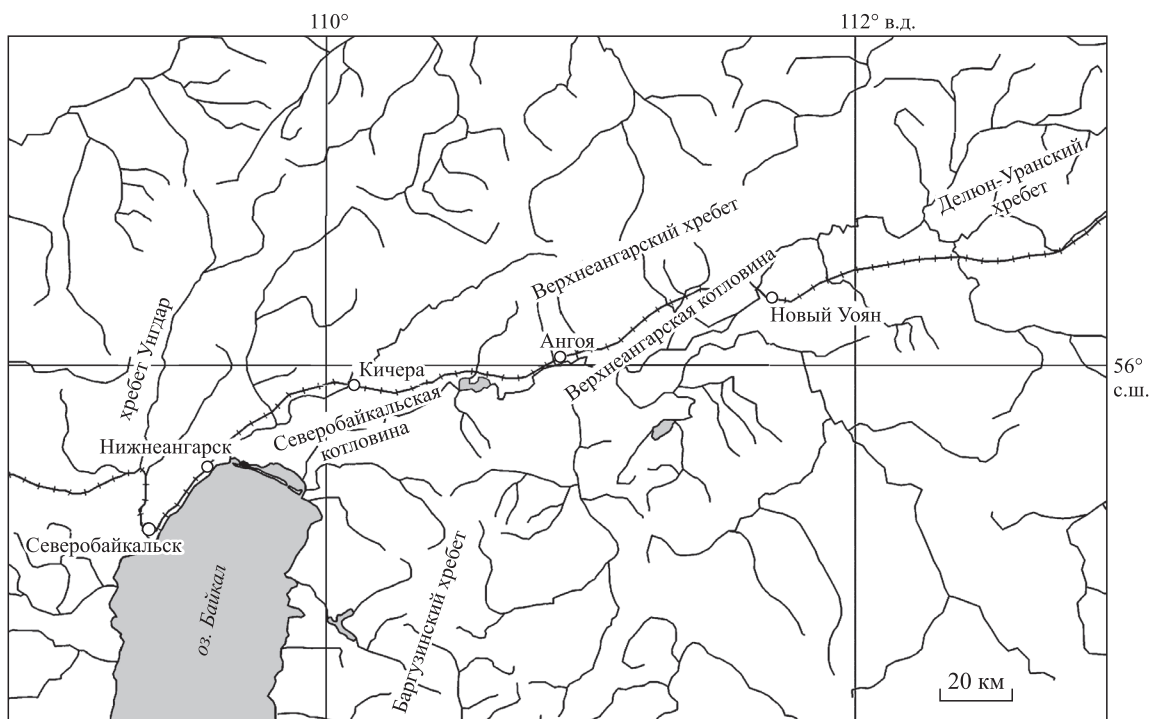


Рис. 1. Картограмма местоположения Северобайкальской и Верхнеангарской котловин.

ную структуру. Скалистые склоны и крупноглыбовые россыпи покрыты лишайниковыми (*Alectoria ochroleuca* (Hoffm.) A. Massal.<sup>1</sup>, *Cetraria islandica* (L.) Ach.) сообществами. На выположенных участках высокогорий, где преобладают плавные и округлые формы рельефа, на щебнистых субстратах располагаются вересково (*Rhododendron aureum* Georgi, *Cassiope ericoides* (Pall.) D. Don, *Vaccinium vitis-idaea* L.)-лишайниковые тундры с единичными экземплярами угнетенного кедрового стланика.

Задернованные берега высокогорных озер и альпинотипные луга покрывают осоково-разнотравные сообщества. В нижней части высокогорного пояса широко развиты кустарничково (*Ledum palustre* subsp. *decumbens* (Aiton) Hulten, *Cassiope ericoides* (Pall.) D. Don, *Empetrum nigrum* L.)-лишайниковые тундры, чередующиеся с разреженными кедровостланиковыми (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) кустарничково-лишайниковыми сообществами.

Пояс подгольцовой растительности представлен зарослями кедрового стланика с участием лиственницы (*Larix dahurica* Laws.). В составе кедровостланиковых ассоциаций наиболее широко распространены березово (*Betula rotundifolia* Spach, *B. divaricate* Ledeb.)-стланиковые кашкаровые (*Rhododendron aureum*) кустарничково-лишайниковые сообщества с редкими лиственницами. В качестве примеси в данных сообществах отмечены экземпляры сосны (*Pinus sylvestris* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour).

Верхняя часть лесного пояса образована лиственничными с сосной и кедром душекиевым (*Dusheckia fruticosa* (Rupr.) Pouzar)-кашкаровыми кустарничково-мелкотравно-зеленомошными лесами с редкой елью (*Picea obovata* Ledeb.) и пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.). В средней и нижней частях лесного пояса на склонах южной экспозиции широко распространены лиственничные и сосново-лиственничные душекиевые-рододендровые бруснично-зеленомошные леса с участием кедрового стланика. Лиственничные леса составляют основную долю таежного пояса на высотах 500–1100 м над ур. моря. Темнохвойные сообщества из кедра и ели с единичными экземплярами пихты бруснично-мелкотравно-зеленомошные отмечены в средней части горно-таежного пояса, в долинных лесах и затененных подгорных местах обитания. На крутых сухих склонах преобладают сосняки и лиственнично-сосновые редкотравные леса с ольховником и рододендром даурским в подлеске.

Растительность пойменных и прибрежных мест обитания в долинах горных рек представлена преимущественно чозениевым (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A.K. Skvortsov)-тополевым (*Populus suaveolens* Fisch.)-кедрово-еловыми высокотравными сообществами.

Значительные площади Верхнеангарской котловины покрыты вторичными осиново (*Populus tremula* L.)-березовыми кустарниковыми травяными лесами на гарях. На месте какой коренной растительности произрастают нарушенные сообщества, в настоящее время сложно установить, так как с началом строительства трассы Байкало-Амурской магистрали антропогенный прессинг на природные экосистемы значительно возрос, вследствие чего произошло формирование длительнопроизводных ценозов с усредненным видовым составом и схожей пространственной структурой сообщества.

Пойменную часть котловины с множеством озер, подвергающуюся регулярным затоплениям в период половодий и покрытую большим количеством протоков, рукавов, стариц как самой р. Верхней Ангары, так и крупного ее притока — р. Котеры, занимают переувлажненные лугово-болотные и лугово-кустарниковые комплексы с участием сосняков, лиственничников. Лугово-кустарниковые комплексы в этой части долины являются первичным типом растительности, что обусловлено водным режимом реки, препятствующим широкому распространению древесных видов [22].

Пониженные места обитания с застойным увлажнением заняты почти чистыми сообществами из хвоща зимующего (*Equisetum hyemale* L.) и осоки пузырчатой (*Carex vesicata* Meinsh.). На повышенных местах обитания среди луговой растительности доминируют вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.) и осоки, появляется луговое разнотравье из хвоща лугового (*Equisetum pratense* Ehrh.) и болотного (*E. palustre* L.), лютика Гмелина (*Ranunculus gmelinii* DC.) и др. Вдоль проток нередко встречаются чистые заросли ольхи волосистой (*Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr.) и рошцы из чозении (*Chosenia arbutifolia*).

Высокая пойма возвышается над уровнем реки на 1,5–2,5 м. Здесь развиты комплексы лугов, лугово-болотных сообществ, болот и заболоченных лесов. На первой и второй террасах, сложенных песчаными отложениями, произрастают сосновые бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*)-разнотравные леса с участием в кустарниковом ярусе ив, березы (*Betula platyphylla* Sukaczew), ольхи (*Alnus hirsuta*), свиды белой (*Swida alba* (L.) Opiz), шиповника (*Rosa acicularis* Lindl.). На пылевато-супесчаных почвах рас-

<sup>1</sup> Латинские названия сосудистых растений приводятся согласно сводке «Конспект флоры Сибири: сосудистые растения» [20], лишайников — по сводке Г.П. Урбанавичуса [21].



пространены лиственничные бруснично-моховые леса, местами, на торфяно-болотных почвах, они переходят в заболоченные низкобонитетные лиственничные леса.

Степные сообщества развиваются на крутых склонах южной экспозиции и представлены злаково (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Stipa capillata* L., *Festuca lenensis* Drobow)-разнотравными (*Thymus pavlovii* Serg., *Pulsatilla turczaninowii* Krylov & Serg., *Artemisia sericea* Weber ex Stechm., *Youngia tenuifolia* (Willd.) Babc. & Stebbins, *Alyssum lenense* Adams и др.) сообществами, наиболее распространенными в окрестностях оз. Иркана и в нижнем течении р. Светлой.

Пирогенная устойчивость растительности зависит прежде всего от морфологических, физиологических, структурно-ценотических особенностей самих растений, доминирующих в определенном сообществе и создающих благоприятные условия для распространения горения. При этом большое значение имеют многие природные факторы, характеризующие экотопы, такие как рельеф, климат, увлажненность почвы и др. Однако методы и подходы к оценке пирогенной устойчивости растительности различаются. Можно брать за основу виды, доминирующие в сообществе, которые наиболее подвержены горению при возникновении и распространении пожара. Можно оценивать каждое растительное сообщество по степени противопожарной устойчивости к низовым пожарам, т. е. устанавливается степень сохранности сообщества и его способность к дальнейшему функционированию после пожара. Эти исследования основываются на том, что толстокорые породы, такие как сосна, лиственница, осина и береза спелого возраста, устойчивы к низовым пожарам.

В качестве основы для оценки устойчивости растительных сообществ использовалась карта растительности Северобайкальской и Верхнеангарской котловин м-ба 1:200 000, составленная на эволюционно-динамических принципах с подробным показом фитоценотической и динамической структуры современной растительности, в которой также приведены экотопические характеристики мест обитания [19].

Устойчивость растительности к воздействию огня оценивалась по отношению к главным факторам, от которых зависят возникновение и распространение низового пожара (известно, что около 90 % пожаров имеют низовой характер [23]). Для разработки методики оценки устойчивости растительности к пирогенному фактору использовались различные литературные материалы [24–27], а также действующие в лесном хозяйстве нормативные документы [28]. Следует отметить, что оценка устойчивости, приведенная в данной работе, является относительной и касается только сообществ указанного региона (конкретной макрогеохоры/ландшафта). Очевидно, что схожие (аналогичные) ассоциации в разных регионах могут обладать разной устойчивостью. Кроме того, были учтены существующие классификации пирогенных свойств древесных пород [29, 30].

Всего выделено восемь наиболее характерных факторов пожарной опасности для лесных сообществ, по отношению к которым оценивалась устойчивость растительности к пожарам.

1. *Горючесть ценозообразующих видов.* Распространение и сила горения напрямую зависят от видового состава доминирующих в сообществе видов. Так, доминирование в сообществе темнохвойных пород снижает устойчивость сообщества к пожарам, что связано с легкой возгораемостью богатой эфирными и смолистыми веществами хвои темнохвойных пород, сильным повреждением стволов древостоя даже при низовых пожарах из-за тонкой коры кедров и наличия в коре пихты смоляных вместилищ — «карманов», а также с легким переходом низового пожара в верховой из-за низкого опускания крон у пихты и ели [24].

2. *Наличие сомкнутого легковоспламеняющегося подроста.* Сомкнутый подрост темнохвойных, а также светлохвойных пород легко загорается, создавая активное пламенное горение [27] и способствуя переходу пожара из низового в верховой.

3. *Горючесть яруса кустарников.* Кедровый стланик, можжевельник, рододендрон даурский, пихтовый стланик содержат значительное количество смол и летучих эфирных масел, из-за чего обладают высокой горючестью и, следовательно, повышают пожароопасность [25].

4. *Горючесть травяно-кустарничкового яруса.* Известно, что горение распространяется по поверхности почвы, на которой произрастают определенные сочетания растений, способные поддерживать пламенное горение. К ним относятся мхи, лишайники, опад, ветошь трав, причем валежник, кустарнички — брусника, багульник (*Ledum palustre*), хвойный подрост и хвойный подлесок поддерживают и усиливают горение, а толокнянка (*Arctostaphylos uva-ursi*) и сочные травы, такие как горноколосник колючий (*Orostachys spinosa*), вейник Лангсдорфа и др., задерживают горение [27]. Покров из багульника или брусники, распространенный в хвойных лесах региона, также неустойчив к огню и очень пожароопасен. Кусты брусники загораются снизу, где много отсохших старых стеблей, причем с увеличением густоты брусничника повышается и его воспламеняемость. Преобладание брусники в

живом напочвенном покрове ускоряет распространение горения [31] за счет низкого влагосодержания брусники и зависания на ее кустиках отмерших трав и опада. Горючесть багульника связана с высоким содержанием в растении эфирных масел.

5. *Горючесть напочвенного покрова.* В лесных сообществах данный фактор зависит от наличия как высокогорючего хвойного опада в сосновых мертвopoкpoвнoх лесах, так и сухой злаковой ветоши в мелколиственных лесах (весной и осенью). В случае преобладания в сообществе лишайников (например, в высокогорных тундрах, гольцовых редколесьях и в зарослях кедрового стланика) ценоз также подвержен возгоранию, поскольку лишайниковый покров неустойчив к пожарам и очень легко воспламеняется. С.П. Анцишкин [32] указывал на то, что лишайники могут загораться даже при большой (80 %) влажности воздуха.

6. *Вероятность перехода пожара из низового в верховой.* Этому способствуют фаутизм, низко опущенные кроны, сучки на стволах деревьев, свисающие со стволов и ветвей лишайники, а также наличие усыхающих деревьев и захламленность территории.

7. *Степень разрушения сообщества низовым пожаром.* Данный фактор выражается в биологических особенностях устойчивости древесных пород к низовому пожару, таких как толстокорость сосны, лиственницы в зрелом состоянии, которые без значительных потерь переносят регулярные низовые пожары, или, напротив, тонкокорость пихты и кедра, легко повреждающихся при термическом воздействии даже низкой интенсивности.

8. *Классы пожарной опасности.* Соответствие сообществ классам пожарной опасности приведено согласно «Сборнику ведомственных актов по лесному хозяйству Гослесхоза СССР» за 1966–1977 гг. [28]. Если выдел относился к классу высокой пожарной опасности, то степень устойчивости оценивалась как низкая, если к низкой, то устойчивость характеризовалась как высокая, с выделением промежуточных стадий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По выделенным критериям проведена оценка выделов созданной карты растительности Верхнеангарской и Северобайкальской котловин [18]. В результате составлены легенда и карта устойчивости растительности Верхнеангарской и Северобайкальской котловин к пирогенному фактору м-ба 1:500 000 (рис. 2).

На карте выделено три категории устойчивости растительности: I — относительно устойчивые, II — среднеустойчивые, III — неустойчивые сообщества. В каждой категории показаны растительные сообщества по принадлежности к высотно-поясному подразделению. Дополнительно указаны динамическая стадия и преобладающий состав ценозов, входящих в состав номера. Данные категории устойчивости являются относительными и отражают только характеристики устойчивости к пирогенному фактору приведенных на карте групп растительных ассоциаций конкретного региона в сравнении между собой.

Термин «относительно устойчивые» был выбран для обозначения наиболее устойчивых сообществ при среднестатистических климатических условиях. Следует учитывать, что при специфических условиях (например, длительный засушливый период) практически все растительные сообщества будут обладать высокой горючестью, а значит, низкой устойчивостью к пирогенному фактору.

### Легенда к фрагменту карты устойчивости растительности Верхнеангарской и Северобайкальской котловин м-ба 1:500 000

#### I. ОТНОСИТЕЛЬНО УСТОЙЧИВЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА

##### 1. Горно-тундровые

Разреженные лишайниковые, кустарниковые кустарничково-мохово-лишайниковые тундры с участием разреженных зарослей кедрового стланика.

Субальпийские луга.

##### 2. Горно-таежные

Производные светлососновых, светлососново-мелколиственные и мелколиственные леса на участках гарей и рубок лиственничных кустарниковых лесов.

Редкостойные темнохвойные кустарниковые леса.

Мелколиственно-темнохвойные леса сырых горных долин.

Лиственничные кустарниковые леса.

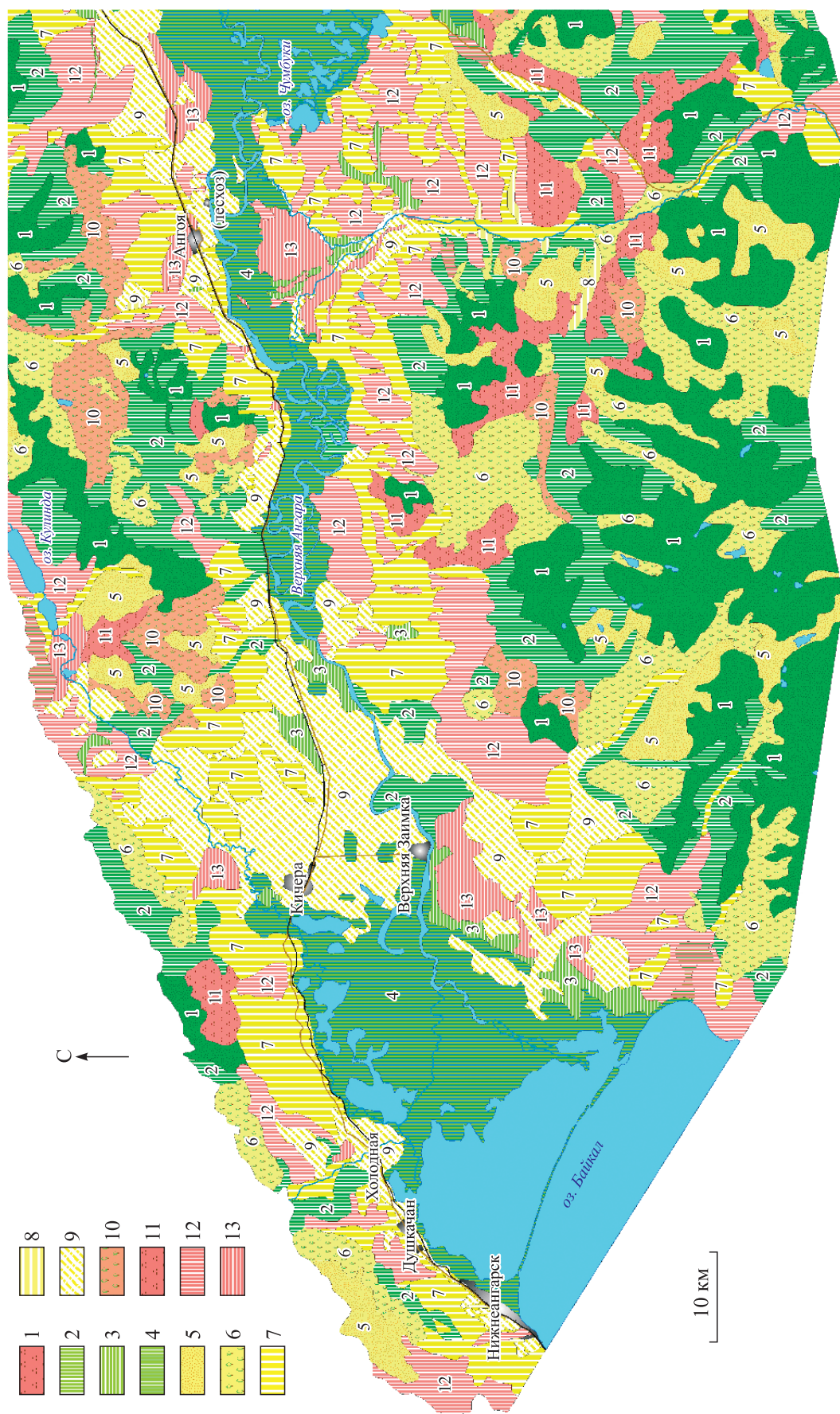


Рис. 2. Фрагмент карты устойчивости растительности Верхнеангарской и Северобайкальской котловин к пирогенному фактору (м-б 1:500 000).

Усл. обозн. — см. легенду.



### **3. Подгорные лесные**

Светлохвойно-мелколиственные кустарниковые леса на месте лиственничных лесов.

Мелколиственные кустарниковые травяные леса на месте лиственничных кустарниковых лесов.

Темнохвойно-мелколиственные и темнохвойные кустарниковые сырые и влажные леса поймы.

Лиственничные кустарниковые зеленомошные леса.

Лиственничные редкостойные заболоченные пойменные леса.

### **4. Подгорные кустарниково-луговые**

Кустарниковые разнотравные сообщества низкой поймы.

Мезокомплекс кустарниковых сообществ и вейниково-осоковых лугов низкой поймы.

Мезокомплекс злаково-разнотравных, осоково-хвощевых лугов и ивовых зарослей низкой поймы.

Мезокомплекс переувлажненных хвощово-осоковых кочковатых и вейниковых лугов, а также кустарниковых зарослей низкой поймы с постоянным избыточным увлажнением.

Мезокомплекс вейниковых переувлажненных задернованных лугов с кустарниковыми и светлохвойными лесами поймы.

Мезокомплекс кустарниковых сфагновых болот с зарослями и пушицево-хвощовых болот и заболоченных лугов на оторфованных мерзлотных почвах.

## **II. СРЕДНЕУСТОЙЧИВЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА**

### **5. Горно-тундровые**

Лишайниковые и кустарничково-лишайниковые тундры с хорошо развитым лишайниковым покровом и разреженными куртинами кедрового стланика и ерника.

### **6. Подгольцовые редколесья и заросли кедрового стланика**

Разреженные кедровостланиковые кустарничково-мохово-лишайниковые заросли. Еловые кустарниковые травяные редколесья днищ горных долин.

Лиственничные кустарниковые редколесья.

Лиственнично-берзовые кустарниковые редколесья.

### **7. Горно-таежные**

Мелколиственные кедровостланиково-кустарниковые кустарничковые леса склонов южной экспозиции.

Темнохвойно-мелколиственные кустарничково-моховые леса.

Мелколиственные рододендроновые багульниково-зеленомошные леса.

Порослевые сильно захламленные леса на местах свежих гарей.

Светлохвойные кустарниковые леса южных склонов.

Сосновые мертвopoкpoвные леса с разреженным подлеском из рододендрона даурского.

Темнохвойно-светлохвойные кустарниковые кустарничково-травяно-зеленомошные леса северных склонов.

### **8. Горно-степные**

Злаково-разнотравные склоновые степные сообщества.

### **9. Подгорные лесные**

Светлохвойно-темнохвойные кустарниковые бруснично-мелкотравно-зеленомошные леса.

Мезокомплекс темнохвойных кустарниковых травяных лесов с сосновыми кустарниковыми лесами поймы.

Порослевые мелколиственные леса на местах свежих гарей лиственничных кустарниковых кустарничково-мелкотравных лесов.

## **III. НЕУСТОЙЧИВЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА**

### **10. Подгольцовые заросли кедрового стланика**

Сомкнутые кедровостланиковые кустарничково-лишайниковые сообщества с редколесьями.

### **11. Подгольцовые редколесья**

Темнохвойно-лиственничные с подлеском из кедрового стланика мохово-лишайниковые редколесья.

### **12. Горно-таежные**

Коренные темнохвойные кедровостланиково-кашкардовые кустарничково-мелкотравно-зеленомошные леса горных долин.

Коренные светлохвойно-темнохвойные кедровостланиково-можжевельниковые кустарничково-зеленомошные леса.

### **13. Подгорные лесные**

Сосновые кустарниковые кустарничково-моховые леса.

Светлохвойные кустарниковые кустарничково-травяные леса.



Все типы сообществ, располагающиеся в альпийском и субальпийском поясах (на высоте выше 1300 м над ур. моря), относятся к устойчивым (см. рис. 2). Очевидно, что лишайниковые тундры в случае сухой погоды легковозгораемы, но повышенное количество осадков в высокогорьях способствует устойчивости тундровых сообществ. Наиболее устойчивыми в высокогорьях являются сообщества с достаточным или избыточным увлажнением, такие как альпинотипные луга, осоково-сфагновые, осоково-разнотравные болотные сообщества.

Устойчивость сообществ кедрового стланика, на топологическом уровне низкая по большинству показателей, на региональном уровне оказывается достаточно высокой, поскольку в регионе они занимают обширные малопосещаемые площади, что снижает риск возникновения пожара как в коренных сообществах, так и в производных. Дополнительным фактором устойчивости кедровостланиковых зарослей на региональном уровне является отсутствие конкуренции со стороны других деревянистых растений из-за суровых климатических условий в подгольцовых местах обитания, поэтому даже в случае нарушения они не могут быть заняты какими-либо другими сообществами.

Из лесных сообществ, занимающих борта долин в пределах горно-таежного пояса, наиболее неустойчивы темнохвойные леса из кедра и пихты, легко повреждающиеся даже низовым пожаром из-за тонкой коры лесообразующих пород. В ранге эпиформации темнохвойная растительность также оказывается слабоустойчивой, что связано с длительным периодом восстановления темнохвойных лесов в условиях Северного Прибайкалья.

Лиственничные леса характеризуются как устойчивые в силу относительно слабой горючести как самой хвои, так и хвойного опада лиственницы, слабой горючести всего напочвенного покрова, а также по причине формирования лиственницей толстой коры в приземной части ствола, относительно легко переносящей воздействие низовых пожаров. Однако легкая доступность лиственничных лесов для человека несколько снижает их устойчивость в ранге эпиформации.

Сосновые леса с легковозгораемым напочвенным покровом из лишайников и хвойного опада, занимающие наиболее сухие места обитания, определяются как слабоустойчивые. Дополнительным фактором неустойчивости сосновых лесов как эпиформаций является то, что они занимают наиболее посещаемые людьми места обитания и нередко именно в них ведутся активные лесозаготовительные работы, в результате чего на местах вырубок в массе остаются скопления высокогорючих древесных остатков. Кроме того, в сосняках, как правило, развивается густой подрост, повышающий вероятность перехода низового пожара в верховой.

Кустарниковые и травяные (луговые и лугово-болотные) сообщества поймы Верхней Ангары весьма устойчивы к пирогенному фактору вследствие достаточного либо избыточного почвенного увлажнения. Лесные ценозы менее устойчивы по сравнению с травяными сообществами в силу длительности восстановительных процессов. Помимо этого, доступность растительных сообществ для человека значительно влияет на их уязвимость и устойчивость.

Подобные карты устойчивости растительности геосистем могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации природопользования, анализа и оценки экологического потенциала геосистем, выделения особо ценных, выполняющих важную природную функцию сообществ, охране которых требуется уделить повышенное внимание, а также при проведении мероприятий для восстановления функций, выполняемых сообществами и т. д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика дает возможность классифицировать растительные сообщества по степени их устойчивости к пирогенному воздействию. Карта, созданная на основе данной методики, отражает их пространственное распространение в регионе. На территории Северного Прибайкалья наиболее развиты относительно устойчивые и среднеустойчивые сообщества. Наименее устойчивыми ценозами выступают сосновые леса, часто примыкающие к населенным пунктам и имеющие не очень обширное распространение на территории.

Устойчивость растительных сообществ к пирогенному фактору следует учитывать при определении экологического потенциала геосистем как важную характеристику для определения антропогенной нагрузки на природные комплексы, при разработке предложений по оптимизации природопользования в регионе. Оценка устойчивости сообществ на разном уровне организации — топологическом или региональном — может различаться в зависимости от их распространенности в регионе. На то-

пологическом уровне лишайниковые тундры и сообщества кедрового стланика являются слабоустойчивыми, но на региональном, в силу широкой распространенности и экотопических условий мест обитания, переходят в ранг устойчивых.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Основы, методы и технологии для цифрового мониторинга и прогноза экологической ситуации на Байкальской природной территории» (13.1902.21.0033).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бех И.А., Данченко А.М. Проблема устойчивости в лесоведении. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. — С. 215–219.
2. Гродзинский М.Д. Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1987. — № 6. — С. 5–15.
3. Белов А.В., Соколова Л.П. Естественная устойчивость растительности геосистем юга Средней Сибири // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 2. — С. 12–23.
4. Софронов А.П., Чепинова В.В. Устойчивость растительности геосистем Северного Прибайкалья к пирогенному фактору // Изв. Ирк. ун-та. — 2012. — Т. 5, № 4. — С. 24–30.
5. Арманд А.Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различного типа внешним воздействиям // Устойчивость геосистем. — М.: Наука, 1983. — С. 14–32.
6. Преображенский В.С. Проблемы изучения устойчивости геосистем // Устойчивость геосистем. — М.: Наука, 1983. — С. 4–7.
7. Механизмы устойчивости геосистем / Отв. ред. Н.Ф. Глазовский, А.Д. Арманд. — М.: Наука, 1992. — 207 с.
8. Титлянова А.А. Устойчивость травяных экосистем // Проблемы устойчивости биологических систем. — М.: Наука, 1992. — С. 68–77.
9. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.
10. Burgan R.E., Klaver R.W., Klaver J.M. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations // International Journ. of Wildland Fire. — 1998. — Vol. 8, N 3. — P. 159–170.
11. Cheney N.P., Gould J.S., Catchpole W.R. Prediction of fire spread in grasslands // International Journ. of Wildland Fire. — 1998. — Vol. 8, N 1. — P. 1–13.
12. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 2. — С. 74–80.
13. Пластилин Л.А., Олзоев Б.Н., Хоанг Зыонг Х., Никитина Ю.Г. Оперативные карты и космокарты динамики лесопожарной обстановки в 2015 г. в ЦЭЗ БПТ для экологического атласа территории // Атласное картографирование: традиции и инновации: Материалы X науч. конф. по тематической картографии. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015. — С. 190–193.
14. Белов А.В. Принципы и методы составления среднемасштабной карты растительности Северного Прибайкалья с использованием аэрокосмических материалов // Геоботаническое картографирование. — Л.: Наука, 1984. — С. 9–20.
15. Владимиров И.Н., Софронов А.П., Сороковой А.А., Кобылкин Д.В., Фролов А.А. Структура растительного покрова западной части Верхнеангарской котловины // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 2. — С. 44–53.
16. Софронов М.А., Гольдаммер И.Г., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Пожарная опасность в природных условиях. — Красноярск: Изд-во Ин-та леса СО РАН, 2005. — 322 с.
17. Vladimirov I.N. The ecological potential of Baikal region's geosystems // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. — 2018. — Vol. 190. — P. 012017.
18. Замана Л.В. Глубокозалегающие многолетнемерзлые породы во впадинах Северного Прибайкалья // Гео-криологические условия зоны Байкало-Амурской магистрали. — Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1980. — С. 31–38.
19. Софронов А.П. Геоботаническое картографирование растительного покрова котловин Северо-Восточного Прибайкалья // Геоботаническое картографирование. — 2015. — С. 62–77.
20. Конспект флоры Сибири: Сосудистые растения / Под ред. К.С. Байкова. — Новосибирск: Наука, 2005. — 362 с.
21. Урбанавичюс Г.П. Список лишенофлоры России. — СПб.: Наука, 2010. — 194 с.
22. Поварнищын В.А. Почвы и растительность бассейна Верхней Ангары // Бурят-Монголия. Почвенно-ботанический и охотоведческий очерк Северо-Байкальского района: Труды Бурят-Монгольской комплексной экспедиции 1932 г. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. — С. 7–132.
23. Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. — Новосибирск: Наука, 1981. — 128 с.
24. Вапчук Л.Н., Попов Л.В., Красный Н.М. Леса и лесное хозяйство Иркутской области. — Иркутск, 1997. — 173 с.

25. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. — Новосибирск: Наука, 1990. — 210 с.
26. Волокитина А.В., Софронов М.А. Увлажнение, влагосодержание и интенсивность горения напочвенного покрова // Моделирование в охране лесов от пожаров. — Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР. — 1979. — С. 45–86.
27. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. — 314 с.
28. Сборник ведомственных нормативных актов по лесному хозяйству Гослесхоза СССР за 1966–1977 гг. — М.: Гослесхоз, 1979. — 207 с.
29. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И., Черных В.А. Пожароустойчивость сосновых лесов. — Новосибирск: Наука, 2005. — 160 с.
30. Цветков П.А. Пирогенные свойства лиственницы Гмелина в северной тайге Средней Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Красноярск, 2005. — 40 с.
31. Курбатский Н.П., Иванова Г.А. Статистическая многофакторная модель кромки низового лесного пожара // Моделирование в охране лесов от пожаров. — Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1979. — С. 17–32.
32. Анцишкин С.П. Противопожарная охрана леса. — М.: Гослесбумиздат, 1952. — 185 с.

*Поступила в редакцию 19.12.2020*

*После доработки 13.05.2021*

*Принята к публикации 13.10.2021*