

УДК 58.002

В.Ф. Максимова¹, Л.А. Майорова², Б.С. Петропавловский³

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСЫХАНИЕ ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Показаны возможности прогнозирования усыхания пихтово-еловых лесов (ельников) Средне-го Сихотэ-Алиня. С применением метода многомерного анализа соотношения растительности с экологическими факторами среды определены количественные связи между ведущими экологическими факторами и очагами усыхания ельников. Это позволит своевременно оценивать масштабы и интенсивность процесса усыхания пихтово-еловых лесов Дальнего Востока.

Ключевые слова: лесная формация, Дальний Восток, ельники, тип леса, усыхание древостоев, экологические факторы среды

Введение. Пихтово-еловые леса (ельники) Приморского края, образованные елью аянской [*Picea ajanensis* (Lindl et Gord) Fisch. ex Garr. и пихтой почкочешуйной (белокорой) *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim], являясь основной лесосырьевой базой края, подвержены интенсивному усыханию. [Манько, Гладкова, 2001]. Площадь, занимаемая пихтово-еловой формацией и ее переходными типами (елово-лиственничными и елово-кедровыми лесами) в Приморском крае равна 3462,5 тыс. га. Почти во всех районах Дальнего Востока на протяжении последних десятилетий проводилось планомерное лесоводственно-географическое и типологическое исследование аянских темнохвойных лесов. Изучались типы пихтово-еловых лесов, их структура, географическое распространение и причины усыхания.

По различным аспектам структуры и динамики пихтово-еловых лесов верховой р. Большая Уссурка (Средний Сихотэ-Алинь), усыхания древостоев опубликованы работы, затрагивающие различные вопросы этого, далеко еще во многом неясного процесса [Кошкарев с соавт., 1983; Петропавловский, 1987; Майорова, Петропавловский, 2017].

Массовое усыхание пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке началось с конца XIX столетия. В Приморском крае этот процесс активизировался несколько позже, чем в Хабаровском и в семидесятых годах прошлого столетия уже охватил 46 % площади всех лесов [Любарский, Соловьев, 1969]. В связи с большими потерями деловой древесины, возникновением высокой пожароопасности, потерей природоохранных функций пихтово-еловых лесов возникла необходимость их комплексного изучения. Одна из задач исследований, проводимых авторами, – выявление причин усыхания древостоев пихтово-еловых лесов и потенциальной возможности прогнозирования данного процесса в различных типах леса и районах края.

В связи с разработкой методов географического прогноза сотрудниками Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР и Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (кафедра биогеографии) с 1977 г. начались совместные лесоводственно-геоботанические исследования. Основное внимание уделено изучению лесных экосистем различных лесных формаций, в том числе и пихтово-еловых лесов, подверженных массовому усыханию. Предполагалось, что наиболее вероятными причинами усыхания ельников является перестойность (высокий возраст) древостоев и потепление климата. Климат Приморского края характеризуется как континентальный с муссонными чертами. Ареал темнохвойных лесов входит преимущественно в умеренно прохладный, избыточно влажный район с суммой температур выше 10°C, равной 1800°C и гидротермическим коэффициентом – 2.

Д.Г. Замолотчиков [2013], рассмотрев ретроспективные и прогнозные данные по динамике климата Приморского края за последние 30 лет, выявил тенденции к росту среднегодовой температуры и уменьшению годовых сумм осадков. Он отметил, что наиболее уязвимыми следует признать леса с доминированием ели и пихты, а также произрастающие на наименее влагообеспеченных формах рельефа.

Материалы и методы исследования. С целью изучения процесса усыхания пихтово-еловых лесов были заложены постоянные и временные пробные площади в различных районах Приморского края, а также геоботанический профиль в верховьях реки Большая Уссурка (Средний Сихотэ-Алинь, район Краснореченского перевала). Основные работы проводились на стационарном участке «Верховья р. Большая Уссурка» в Дальнегорском районе, расположенном в типичном массиве пихтово-еловых

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: galmax@mail.ru

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток; канд. биол. н., науч. с.; e-mail: mayorova.49@inbox.ru

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток; гл. науч. с., докт. биол. н., e-mail: petrop5@mail.ru

лесов на высоте 850–1000 м над ур. моря. Массовое усыхание в этом районе началось за 10–12 лет до начала организации стационарного участка и интенсивно продолжалось в последующие годы, захватывая новые участки леса.

На территории ключевого участка заложены стационарный лесоводственно-геоботанический профиль и постоянные пробные площади в различных типах пихтово-еловых лесов с различной интенсивностью и давностью усыхания древостоя. Лесоводственно-геоботанический профиль пересекает долину ручья в западно-восточном направлении, имеет длину 1710 м и состоит из 115 площадок, размером 15×15 м, разбитых по одну сторону прямолинейного створа. Он заложен с таким расчетом, чтобы охватить возможно больший набор типов местообитания пихтово-еловых лесов и стадий усыхания древостоев. Каждое дерево на профиле было пронумеровано. При описании древостоя в полевые журналы заносились следующие данные: номер дерева, его вид, диаметр, высота (глазомерно), проекции кроны по двум направлениям (С-Ю, З-В), возраст (глазомерно и выборочно – с помощью возрастного бура); оценивалось состояние дерева (живое, усохшее, усыхающее). Для усохших деревьев указывалась давность (время начала усыхания) по шести градам: текущего года, прошлого года, 2–3, 3–4, 5–9 и более, чем 10-летней давности. Дополнительно на стационарном участке 2×1 км, разбитом регулярной сеткой на ячейки 100×100 м, была создана сеть опорных точек наблюдений.

Для комплексного исследования лесной экосистемы большое внимание было уделено изучению экологических условий стационара. Выделены 3 категории увлажнения территории: влажная (склоны северных, северо-восточных экспозиций), умеренно влажная (северо-западные и восточные склоны) и недостаточно влажная (юго-западные и юго-восточные склоны). Теплообеспеченность определялась на основе таблиц действительной суммы солнечной радиации за вегетационный период для широты 44° в зависимости от значений экспозиции и крутизны склона. Выделены холодные (42–45 ккал/см²), умеренно холодные (45–48 ккал/см²) и теплые (более 48 ккал/см²) местообитания.

Для выявления причин усыхания древостоев пихтово-еловых лесов и потенциальной возможности прогнозирования развития данного процесса в различных типах леса перспективным является использование математических методов по оценке влияния факторов среды на растительность, количественной оценки этого влияния, установление связи процесса усыхания с факторами природной среды. Эти методические подходы отражены во многих работах как зарубежных, так и отечественных геоботаников, биогеографов, экологов [MacArthur, 1972; Bouxin, 1976].

В наших исследованиях для оценки степени влияния факторов среды на растительность была применена методика, основанная на методах информационной статистики. Информационный анализ в срав-

нении с корреляционным и дисперсионным, обладает рядом достоинств, которые заключаются в том, что этот метод обладает универсальностью и может быть применен к такой сложной системе, как лесная растительность. Развитию этого метода способствовала публикация фундаментальной монографии по теории информационной статистики С. Кульбака [1967].

Информационная статистика основана на оценке количества передаваемой информации, выраженной в категориях неопределенности, энтропии фактора и явления (меры разнообразия). Центральным понятием для расчета меры взаимозависимости является оценка разнообразия состояния системы, которая определяется через категории теории вероятностей, в основном через меру разнообразия H – функцию: $H = -\sum p_i \log p_i$.

Меры связи основаны на том, что по информации, которая определяется как мера неопределенности и характеризует фактор среды, обозначим его через (B) , можно определить состояние явления (A) (категория растительности в нашем случае). Величины неопределенности, или меры разнообразия $H(A)$ и $H(B)$ определяются по формуле Шеннона, отражающей априорное распределение вероятностей:

$$H(B) = -\sum_i p(b_i) \log_2 p(b_i),$$

$$H(A) = -\sum_i p(a_i) \log_2 p(a_i),$$

где: $p(b_i)$ и $p(a_i)$ – соответственно, вероятности событий b_i и a_i .

В случае, когда известны меры неопределенности (или разнообразия) фактора среды и структуры растительности, и их совместное состояние, можно определить меру зависимости между ними $[T(A, B)]$ по формуле:

$$T(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B),$$

где: $H(A)$ – неопределенность структуры растительности (явления), $H(B)$ – неопределенность фактора среды, $H(A, B)$ – совместная неопределенность фактора и явления, которая определяется как:

$$H(A, B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a_i b_j) \log_2 p(a_i b_j).$$

При фактически независимых состояниях A и B совместная неопределенность $H(A, B)$ равна сумме $H(A)$ и $H(B)$, и тогда $T(A, B) = 0$.

Таким образом, мера зависимости $T(A, B)$ выражает определенное «количество» информации, и по существу является в биологических системах мерой связи, аналогичной коэффициенту корреляции, но в отличие от последнего более универсальной мерой, поскольку применяется без ограничений, которые накладываются при корреляционном анализе. Величина связи, оцениваемая через $T(A, B)$ размерная, определяется в битах. Размерность устраняется путем нормирования через $H(B)$: $K(B; A) = T(A, B)/H(A)$ [Пузаченко, Мошкин, 1969].

Мера $K(B, A)$ используется при оценке влияния какого-либо фактора среды на явление (состояние биоты, почвы) и изменяется от 0 до 1. По ее величине можно судить о степени влияния.

Для биологических систем большое значение имеет «обратная» мера – $K(A; B) = T(A, B)/H(B)$. Эта мера также изменяется от 0 до 1. Биологическая интерпретация меры может характеризовать индикаторную роль явления, например, при установлении возможности определения кислотности почвы по встречаемости отдельных видов растений. Основой расчета меры зависимости (коэффициента сопряженности) является таблица-матрица совместных частот фактора среды и явления.

Методика определения меры экологического соответствия лесной растительности ведущим факторам среды основана на выявлении уровня экологической сопряженности таксона растительности (например, типа леса, доминирующего вида) или состояния лесной экосистемы (например, стадия усыхания древостоя) и конкретной градации фактора среды. Такой подход адекватен оценке экологической устойчивости растения или сообщества в связи с положением их вдоль градиента среды. Наиболее устойчиво сообщество в области экологического оптимума. Для оценки уровня экологического соответствия (УЭС) таксонов растительности факторам среды использована нормированная мера Дайса-Брея [Семкин с соавт., 1986]:

$$K = \frac{2p_{ij}}{p_i + p_j},$$

где: P_{ij} – совместная встречаемость фактора среды и анализируемого явления; P_i – условная вероятность по фактору среды; P_j – условная вероятность явления.

Мера совместимости событий позволяет сравнивать относительную встречаемость объекта исследования (явления) при разных градациях фактора среды, оценивать УЭС. Она изменяется от 0 до 1. Чем ближе ее значение к единице, тем более характерно, или типично, сочетание фактора и явления.

Для расчета УЭС составляется матрица, по столбцам которой приводятся градации факторов среды, а по строкам – конкретные характеристики

растительности объекта исследования в качественной или количественной шкале. В ячейках матрицы проставляются частоты совместных встреч и вычисляются коэффициенты Дайса. При оценке УЭС таксона по двум и более факторам среды матрица составляется для каждого из них. Интегральная оценка УЭС производится на основании суммирования всех нормированных мер Дайса.

Результаты и их обсуждение. Собранный материал на основе сопряженного картографического анализа в регулярных точках и на экологическом профиле с использованием метода многомерного анализа соотношения растительности с экологическими факторами позволил определить уровень влияния ведущих факторов среды на структуру и динамику лесного массива стационарного участка (табл. 1).

Наиболее высокая связь усыхания древостоев на стационарном участке отмечается с типами леса, коэффициент связи $K(B; A)$, наиболее высокий – 0,161. Большую роль играет абсолютная высота местности, коэффициент связи – 0,120. Возраст древостоя, как это следует из меры сопряженности, если и связан с процессом усыхания, то его влияние в сравнении с другими факторами среды, такого же уровня.

На геоботаническом профиле в один год усыхают деревья, возраст которых может отличаться на 60–80 лет. Для разновозрастного леса характерным является отмирание перестойных деревьев, которые расположены диффузно, относительно равномерно по площади. Усыхание же древостоя в данном районе носит очаговый, мозаичный характер. Куртинность расположения очагов усыхания хорошо заметна на аэрофотоснимках.

Интегральные меры дают возможность судить о степени влияния того или иного фактора среды на процесс усыхания, но они не раскрывают конкретной приуроченности очагов усыхания к отдельным элементам рельефа, к конкретным типам леса, возрастным стадиям развития древостоя.

Наши исследования показывают, что очаги усыхания древостоев пихтово-еловых лесов на стационарном участке «Верховья реки Большая Уссурка» приурочены как к отдельным типам почв и типам леса, так и к конкретным элементам рельефа.

Таблица 1

Коэффициенты связи процесса усыхания древостоя пихтово-еловых лесов с факторами среды (стационарный участок «Верховья р. Большая Уссурка»)

Факторы среды	$K(B; A)$	$K(A; B)$	$T(A; B)$	$H(A)$	$H(B)$
Абсолютная высота местности, м	0,120	0,009	0,276	2,792	2,296
Экспозиция склона	0,098	0,088	0,247	2,792	2,525
Крутизна склона	0,098	0,093	0,260	2,792	2,657
Тип почвы	0,109	0,066	0,185	2,792	1,701
Тип леса	0,161	0,190	0,534	2,792	3,320
Средний возраст древостоя, лет	0,110	0,078	0,217	2,792	1,968

Заметна приуроченность очагов усыхания к пойменным типам почв, развитых на нижних и средних частях склонов, характеризующихся большей теплообеспеченностью. Отмечается большая подверженность усыханию древостоев мелкопапоротниково-разнотравных и мохово-брусничных ельников, а также участков леса, произрастающих на местообитаниях с большей теплообеспеченностью – склонах юго-западных и юго-восточных экспозиций (табл. 2).

В целом для пихтово-еловых лесов оптимальными условиями являются пониженная теплообеспеченность и повышенная влагообеспеченность в сравнении с другими лесными формациями, но для каждого типа леса этой формации характерен свой тип местообитания с определенным набором экологических факторов. На основании выявленных закономерностей можно утверждать, что отдельные типы леса, должны по-разному реагировать на одно и то же изменение фактора среды, тем более, если он лимитирующий. Для ельников лимитирующими факторами являются тепло- и влагообеспеченность, но влияние первого фактора наиболее значимо.

Можно предположить, что усыхание ельников должно прогрессировать при изменении климата в

сторону потепления и уменьшения влагообеспеченности территории. Площади усохшего леса и интенсивность усыхания древостоя возрастает при переходе с севера на юг, от более оптимальных условий в целом для еловой формации, к более экстремальным, где действие лимитирующих факторов сказывается в значительной мере. Отмечается большая подверженность усыханию пихтово-еловых лесов, произрастающих на склонах южных экспозиций. Теплообеспеченность отдельных участков леса зависит не только от экспозиции, но и от крутизны склона, от их комбинаций. Этим во многом объясняется, что на Дальнем Востоке сначала усыханием были охвачены леса в верхнем поясе гор и плато, затем это явление распространилось на ельники среднегорных местообитаний и охватило более северные районы, где пихтово-еловые и еловые леса представляют зональный тип растительности.

Мозаичность условий произрастаний, выражающаяся в неоднородности получения тепла и влаги определяет групповой и куртинный характер возникновения очагов усыхания. В первую очередь происходит усыхание древостоя на тех элементах рельефа, где в большей мере ощущается недостаток влаги в почве и в воздухе, к которым ель и пихта

Таблица 2

Наиболее типичные местообитания, характерные для усыхающих пихтово-еловых лесов стационара «Верховья р. Б. Уссу́рка»

Высота над ур. моря, м	Экспозиция склона	Крутизна склона	Средний возраст древостоя, лет	Типы насаждения	Типы почв
+	0	+	–	–	+
850–875 м	С	до 40	60–80	Пихтово-еловый лес крупнопоротниково-разнотравный	Буротажные, сильно-оподзоленные
+	+	+	–	–	–
876–900 м	СВ	5–80	81–100	Пихтово-еловый лес зеленомошный	Буротажные, средне-оподзоленные
–	+	–	+	–	+
901–925 м	В	5–80	101–120	Пихтово-еловый лес разнотравно-зеленомошный	Буротажные, слабо-оподзоленные
+	+	+	+	+	–
926–950 м	ЮВ	9–120	121–140	Пихтово-еловый лес мелкопапоротниково-разнотравный	Буротажные, иллювиально-гумусовые сильно-оподзоленные
+	+	–	+	–	–
951–975	3	17–20	141–160	Пихтово-еловый лес вейниково-разнотравный	Буротажные иллювиально-гумусовые средне-оподзоленные
+	–	–	+	+	+
976–1000	СЗ	21–24	161–180	Пихтово-еловый лес мохово-брусничный	Буротажные, иллювиально-гумусовые слабо-оподзоленные

Примечание. (+) – наиболее типичные типы местообитаний, типы леса, типы почв, на которых выявлены участки леса с сухим или усыхающим древостоем; (0) – не типичные ситуации (усохший древостой встречается редко); (–) – отсутствие массового усыхания древостоя.

наиболее чувствительны. Есть основание считать, что вся территория, занятая ельниками, неоднородна с точки зрения условий возникновения очагов усыхания, и эта неоднородность отражает разную степень устойчивости пихтово-еловых лесов при изменении климата в сторону потепления.

В пределах исследуемого стационарного участка «Верховья реки Большая Уссурка» отмечаются участки сухостойного леса различной давности усыхания древостоя, от одного года до 10 и более лет. В очаге много деревьев, особенно в первом ярусе древостоев, практически лишенных вершины и ветвей. На этих участках, в зависимости от времени усыхания лес становится более разновозрастным. Заметна приуроченность наиболее интенсивных очагов усыхания древостоя к перестойным насаждениям разнотравно-мелкопапоротниковых и кустарниково-разнотравных ельников, произрастающих в средних и нижних частях склонов западных и юго-западных экспозиций.

Выводы:

- интенсивным усыханием древостоев охвачен самый продуктивный комплекс темнохвойных лесов Приморского края – пихтово-еловые леса плато и горных склонов;
- очаги усыхания встречаются и в долинных пихтово-еловых лесах, что позволяет считать, что не только дефицит почвенной влаги является причиной деградации и распада древостоев;
- нет оснований считать, что первопричиной усыхания ельников является естественное отмирание деревьев в связи с их «перестойностью», так как количественная сопряженность усыхания ельников со средним возрастом древостоев (возраст-

ной стадией развития) соизмерима с другими факторами среды;

– наиболее высокие коэффициенты связи процесса усыхания древостоя наблюдаются с типами леса, и особенно, с ельниками мелкопапоротниково-разнотравными, характер распределения которых по территории стационара, во многом и определяет куртинность расположения очагов;

– для пихтово-еловых лесов лимитирующими факторами являются тепло- и влагообеспеченность, и особенно первый фактор. Площади усохших древостоев и интенсивность усыхания возрастает с севера на юг, от более оптимальных условий в целом для еловой формации, к более экстремальным на юге Приморского края. Отмечается большая подверженность усыханию ельников, произрастающих на склонах южных и западных экспозиций;

– приведенные результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования усыхания пихтово-еловых лесов в связи с изменением климата в Дальневосточном регионе. Выявленные особенности данного процесса являются основой для организации мониторинга за состоянием и динамикой пихтово-еловых лесов, для своевременных промышленных рубок ценной древесины, рубок ухода и рационального использования сухостоя;

– использование материалов аэрокосмической съемки лесной растительности и результатов стационарных исследований, создание на их основе геоинформационных систем (ГИС) с регулярно обновляемой базой данных (БД) открывает широкие перспективы для изучения лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Замолодчиков Д.Г. Потенциальные уязвимости и адаптация лесов Приморского края к изменениям климата // Вестн. ИРГСХА. 2013. № 54. С 56–63.

Кошкарёв А.В., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. Методы мониторинга усыхающих пихтово-еловых лесов верховий реки Большая Уссурка // Прикладные аспекты программы «Человек и биосфера». М., 1983. С. 181–195.

Кульбак С. Теория информации и статистики. М.: Наука, 1967. 408 с.

Любарский Л.В., Соловьев К.П. Явление усыхания ельников // Леса Дальнего Востока. М.: Лесная промышленность, 1969. С. 127–131.

Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. Пихтово-еловые леса Приморского края (эколого-географический анализ). Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2017. 164 с.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А. Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.

Петропавловский Б.С. Оценка состояния пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня // Методы оценки состояния природной среды. Владивосток: ДВО РАН, 1987. С. 88–98.

Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки. Медицинская география. М., 1969. Вып. 3. С. 5–74.

Семкин Б.И., Петропавловский Б.С., Кошкарёв А.В., Варченко Л.И., Усольцева Л.А. О методе многомерного анализа соотношения растительности с экологическими факторами // Ботан. журн. 1986. Т. 71. № 9. С. 1167–1981.

Bouxin G. Ordination and classification in the upland Rugege forest (Rwanda, Central Africa) // Vegetatio. 1976. Вып. 32. № 2. Р. 97–115.

MacArthur R.H. Geographical ecology. Patterns in distribution of species. N.Y.: Harper and Row, 1972. 269 p.

Поступила в редакцию 05.03.2018

После доработки 02.10.2018

Принята к публикации 08.10.2018

V.F. Maksimova¹, L.A. Mayorova², B.S. Petropavlovskiy³MAIN ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCING
THE DRYING OF THE FAR EAST FIR-SPRUCE FORESTS

Potentials of predicting fir-spruce forests (fir groves) drying in the Middle Sikhote-Alin Mountains are demonstrated. The quantitative relations between the leading ecological factors and the foci of fir-spruce forests drying were defined using the multivariate analysis of correlation of vegetation with ecological factors of the environment. It will allow well-timed estimating of the scope and intensity of fir-spruce forests drying in the Far East.

Key words: forest formation, Far East, fir groves, forest type, drying of forest stands, ecological factors of the environment

REFERENCES

- Bouxin G.* Ordination and classification in the upland Rugege forest (Rwanda, Central Africa) // *Vegetatio*. 1976. V. 32. № 2. P. 97–115.
- Koshkaryov A.V., Mayorova L.A., Petropavlovskiy B.S.* Metody monitoringa usykhayushhih pikhtovo-elovykh lesov verkhovij reki Bol'shaya Ussurka [Methods of monitoring the drying fir-spruce forests in the upper reaches of the Bolshaya Ussurka River] // *Prikladnye aspekty programmy «Chelovek i biosfera»*. M., 1983. S. 181–195 (in Russian).
- Kul'bak S.* Teoriya informatsii i statistiki. [Theory of Information and Statistics] M.: Nauka, 1967. 408 s. (in Russian).
- Lyubarskij L.V., Solov'ev K.P.* Yavlenie usykhaniya el'nikov [The phenomenon of spruce forests drying] // *Lesn. prom-st'*, 1969. S. 127–131 (in Russian).
- MacArthur R.H.* Geographical ecology. Patterns in distribution of species. N.Y.: Harper and Row, 1972. 269 p.
- Mayorova L.A., Petropavlovskiy B.S.* Pikhtovo-elovye lesa Primorskogo kraja (Ekologo-geograficheskij analiz). [Fir-spruce forests of the Primorsky Krai (Ecological and geographical analysis)] Vladivostok: Tikhookeanskij institut geografii DVO RAN, 2016. 164 s. (in Russian).
- Man'ko Yu.I., Gladkova G.A.* Usykhaniye eli v svete global'nogo ukhudsheniya temnokhvojnykh lesov. [Drying of spruce in the light of the global deterioration of dark coniferous forests]. Vladivostok: Dal'nauka, 2001. 228 s. (in Russian).
- Petropavlovskiy B.S.* Otsenka sostoyaniya pikhtovo-elovykh lesov Srednego Sikhote-Alinya [Assessment of the state of fir-spruce forests in the Middle Sikhote-Alin Mountains] // *Metody otsenki sostoyaniya prirodnoj sredy*. Vladivostok: DVO RAN, 1987. S. 88–98 (in Russian).
- Puzachenko Yu.G., Moshkin A.V.* Informatsionno-logicheskij analiz v mediko-geograficheskikh issledovaniyakh [Information-logical analysis in medical-geographical studies] // *Itogi nauki. Meditsinskaya geografiya*. M., 1969. Vyp. 3. S. 5–74 (in Russian).
- Semkin B.I., Petropavlovskiy B.S., Koshkarev A.V., Varchenko L.I., Usol'tseva L.A.* O metode mnogomernogo analiza sootnosheniya rastitel'nosti s ekologicheskimi faktorami [On the method of multivariate analysis of correlation between vegetation and environmental factors] // *Botan. zhurn.* 1986. T. 71. № 9. S. 1167–1981 (in Russian).
- Zamolodchikov D.G.* Potentsialnye uyazvimosti i adaptatsiya lesov Primorskogo kraja k izmeneniyam klimata [Potential vulnerabilities and adaptation of forests of the Primorsky Krai to climate changes] // *Vestnik IrGSKhA – Bulletin of IrGSKhA*, 2013. № 54. P. 56–63 (in Russian).

Received 05.03.2018

Revised 02.10.2018

Accepted 08.10.2018

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Associate Professor, PhD. in Geography

² Federal State Budgetary Institution of Science Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok; Research Scientist, PhD. in Biology; *e-mail*: mayorova.49@inbox.ru

³ Federal State Budgetary Institution of Science Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok; Chief Research Scientist, D.Sc. in Biology; *e-mail*: petrop5@mail.ru