

УДК 630*43:004.9(571.62)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОГО
ПИРОЛОГИЧЕСКОГО ИНДЕКСА НА ТЕРРИТОРИИ
ХАБАРОВСКОГО КРАЯ И ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Глаголев, А.М. Зубарева

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: glagolev-jar@yandex.ru, anna-doroshenko@mail.ru

Предложена и создана система оценки комплексного пирологического индекса по совокупности природных и природно-антропогенных факторов, определяющих горимость растительности. Показано, что комплексный пирологический индекс соответствует плотности пожаров растительности и может быть использован для выявления тенденций изменения характеристик сезонов с целью разработки долгосрочных программ модернизации противопожарного мониторинга с учетом прогнозов изменения климатических и социально-экономических условий на определенной территории.

Ключевые слова: комплексный индекс, информационная система, пожары растительности, пожарная опасность.

Организация эффективного межрегионального взаимодействия лесоохранных служб по предупреждению пожаров растительности невозможна без оценки пожарной опасности на длительный период времени – на пожароопасный сезон. Формирование сезонов и внутрисезонных периодов связано с комплексом разнообразных и переменных во времени пирологических характеристик компонентов геосфер как природного, так и антропогенного генезиса, которые определяют пирологические свойства территории. Оценка пирологических характеристик включает интеграцию динамических показателей, описывающих закономерности внутригодовых и межсезонных условий возникновения пожаров в административно-территориальных единицах (субъекты РФ, муниципальные районы, филиалы лесничества, участковые лесничества) либо ячейках регулярной или нерегулярной сети, наложенной на исследуемую территорию.

Целью данной работы является разработка системы оценки комплексного пирологического индекса на длительный период времени – на пожароопасный сезон, включающей базу данных пирологических показателей, модули их обработки и визуализации результатов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: анализ показателей, применяемых для оценки комплексного пирологического индекса территории; проектиро-

вание архитектуры, базы данных и модулей системы; практическая реализация системы на примере территории Хабаровского края и Еврейской автономной области (ЕАО).

**Методика оценки комплексного
пирологического индекса**

Авторская методика оценки комплексного пирологического индекса (КПИ), основанного на интеграции показателей, определяющих пирологические свойства территории [5], включает три этапа: выбор пирологических показателей, характеризующих условия формирования сезонов; расчет КПИ; анализ тенденций изменения показателей и КПИ.

Для оценки природных и антропогенных факторов формирования пожароопасных сезонов выбраны следующие показатели: продолжительность сезона по природным и природно-антропогенным условиям (дни); продолжительность сезона с высокой степенью пожарной опасности (суровость сезона), дни; плотность населения (человек/км²); относительное число пожаров растительности (пожар/100 тыс. га.); относительная площадь пожаров растительности (га/100 тыс. га.); грозовая активность (дни).

Комплексное воздействие природных и антропогенных факторов на формирование сезонов определяется по величине КПИ (I_j). Он рассчитывается по обобщенной функции желательности, в основе которой лежит принцип интеграции и

преобразования показателей, измеренных в различных единицах, в безразмерную шкалу, учитывая соотношение между полученными и желательными значениями по отношению к их пороговому уровню [1]:

$$I_j = \sqrt[n]{\prod_{z=1}^n d_{z,j}} = \sqrt[n]{\prod_{z=1}^n (2X_{z,j} \cdot X'_{z,j}) / (X_{z,j}^2 + X'_{z,j}{}^2)}, \quad (1)$$

где n – количество значимых показателей; j – порядковый номер операционно-территориальной единицы (ОТЕ), например, муниципального района; $d_{z,j}$ – частная функция желательности z -го показателя; $X_{z,j}$ – значение z -го показателя; $X'_{z,j}$ – пороговое значение z -го показателя; z – номер показателя. Значимые показатели определяются на основе тесноты корреляционной связи между каждым из них и количеством пожаров в пожароопасном сезоне, а пороговые значения показателей – путем построения эмпирического ряда распределения каждого показателя по годам и нахождения 2,5% квантилей распределений, которые считаются минимальными и максимальными значениями. В качестве пороговых выбраны максимальные значения, поскольку при этом достигается желательное уменьшение КПИ при уменьшении показателей. Ранжирование КПИ выполняется по величине индекса I_j согласно шкале Харрингтона [8].

Анализ тенденций изменения показателей и индекса проводится по схеме: проверка многолетних значений показателей и индекса на наличие трендовой составляющей; определение углов линейных трендов показателей и индекса; создание одномерных массивов углов линейных трендов показателей и индекса; проверка массивов на соответствие нормальному распределению; оценка изменения показателей и индекса по интервалам среднеквадратического отклонения (σ) и среднему значению углов линейных трендов ($\bar{\alpha}$) показателей по шкале: от $\bar{\alpha} \pm 3\sigma$ до $\bar{\alpha} \pm 2\sigma$ (аномальное повышение или понижение); от $\bar{\alpha} \pm 1,99\sigma$ до $\bar{\alpha} \pm \sigma$ (повышение или понижение); от $\bar{\alpha} \pm 0,99\sigma$ до $\bar{\alpha} \pm 0,5\sigma$ (слабое повышение или понижение); от $\bar{\alpha} \pm 0,49\sigma$ (стабильный); анализ причин изменения КПИ сравнением показателей и индекса с многолетними

Архитектура системы оценки комплексного пирологического индекса

Для решения комплексных задач, связанных с мониторингом окружающей среды, необходимо создание информационной системы, объединяющей такие функции, как сбор данных с помощью дистанционных и контактных методов, их анализ и накопление с последующей тематической

обработкой [7], при этом должна обеспечиваться приемлемая скорость обработки больших массивов данных систематических наблюдений, расчет показателей состояния природных объектов, прогноз диагностики их изменений под влиянием природно-антропогенных факторов и, при необходимости, анализ развития процессов с выдачей предупреждений о нежелательных изменениях.

Архитектура авторской системы комплексной оценки пирологических характеристик территории состоит из четырех взаимосвязанных информационных блоков:

1. Блок «Сбор и первичная обработка данных». Предназначен для сбора разрозненных данных, содержащихся на веб-страницах порталов гидрометеорологических служб, в бумажных и электронных отчетах лесоохранных организаций о лесных пожарах и грозových разрядах, на спутниковых снимках дистанционного мониторинга пожаров растительности, в статистических сборниках природных и социально-экономических показателей территории.

Метеорологические данные веб-порталов публикуются в виде структурированных HTML- и XML-документов. В РФ сведения о фактических и прогнозируемых погодных условиях предоставляют Гидрометеоцентр (*meteoinfo.ru*), Фобос (*gis-meteo.ru*), ИКИ РАН (*infospace.ru*). Импорт данных происходит по протоколу передачи гипертекста HTTP. Внутри веб-страниц осуществляется поиск тегов (маркеров), отвечающих за вывод метеорологических показателей гидрометеостанций (ГМС).

Мониторинг пожаров растительности осуществляют региональные лесоохранные (ОГБУ «Лесоохрана ЕАО», ОГБУ «Лесничество ЕАО») либо федеральные службы, наиболее известные из них – Национальное управление по воздушному и исследованию космического пространства NASA (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>) и Федеральное бюджетное учреждение «Авиалесоохрана» (<http://aviales.ru>). Ежедневные отчеты содержат подробное описание пожара растительности: место возникновения (координаты центра и границ или квартал участкового лесничества), тип пожара (лесной/ не лесной), даты обнаружения и ликвидации, обнаружитель, причина возникновения, площадь пожара, объем сгоревшей древесины.

Характеристики территории собираются из метеорологических сборников [7], отчетов о переписи населения [4], по данным о ежедневной пеленгации грозových разрядов радиолокационными станциями.

2. Блок «Хранение данных расчета показателей НПС» Задачами блока являются хранение, поддержание целостности и непротиворечивости реляционных баз метеоданных (БМД), пожаров растительности (БДПР) и показателей напряженности (БДКПИ) средствами СУБД Oracle MySQL 5 и MS Access 2007, ГИС MapInfo Professional 8.5 [2].

В БДКПИ хранятся показатели, необходимые для анализа комплексного индекса, полученные в результате расчетов и агрегирующих SQL-запросов к БМД и БДПР. Основные таблицы: «Показатели НПС» с ежегодными данными о продолжительности сезонов, количестве дней с грозами, суровости, относительном количестве и площади пожаров и «Тенденции» – с характеристиками линейных трендов, отражающих динамику изменения пирологических показателей за выбранный период (рис. 1).

3. Блок «Расчет комплексного индекса КПИ ($I_{кпи}$)». Блок состоит из модуля, созданного в среде программирования RAD Studio Delphi 2010 (внешний вид приведен на рис. 2). Подключение и выполнение SQL-запросов к БД осуществляется посредством компонента MySQLDAC компании MicroOlap (<http://microolap.com>).

Бизнес-логика состоит из алгоритмов, реализованных в динамических SQL-запросах:

- Суровость сезонов. Выполняется расчет ежедневных показателей метеорологической пожарной опасности и вычисление суммы особо

опасных дней по данным каждой ГМС [3]; сохранение результатов в таблицу «Суровость сезона» и выполнение агрегирующего запроса на обновление усредненных значений суровости по данным нескольких ГМС, расположенных в одной ОТЕ, в таблице «Показатели КПИ» БДКПИ.

- Продолжительность сезонов по природным и природно-антропогенным факторам, относительное число пожаров и их площадь. Реализуется для каждого ОТЕ последовательными запросами: выборка в таблицах БДПР дат начала первого и окончания последнего пожара, общего и внутрисезонного количества лесных пожаров [3], сохранение результатов выборки в таблицу «Отчеты о пожарах»; выполнение агрегирующего запроса на обновление показателей в таблице «Показатели КПИ» БДКПИ.

- Грозопожароопасность. Определяется количество дней с грозами в ОТЕ и данные обновляются в таблице «Показатели КПИ» БДКПИ.

- Расчет комплексного индекса КПИ ($I_{нпс}$). Производится расчет частных функций желательности показателей и вычисление комплексного индекса КПИ ($I_{нпс}$) сезона по уравнению (1).

- Характеристики линейных трендов показателей напряженности. Линейные тренды строятся по значениям каждого показателя напряженности за базовый период, при наличии трендовой составляющей создается массив углов трендов и проводится проверка выполнения нормального закона распределения.

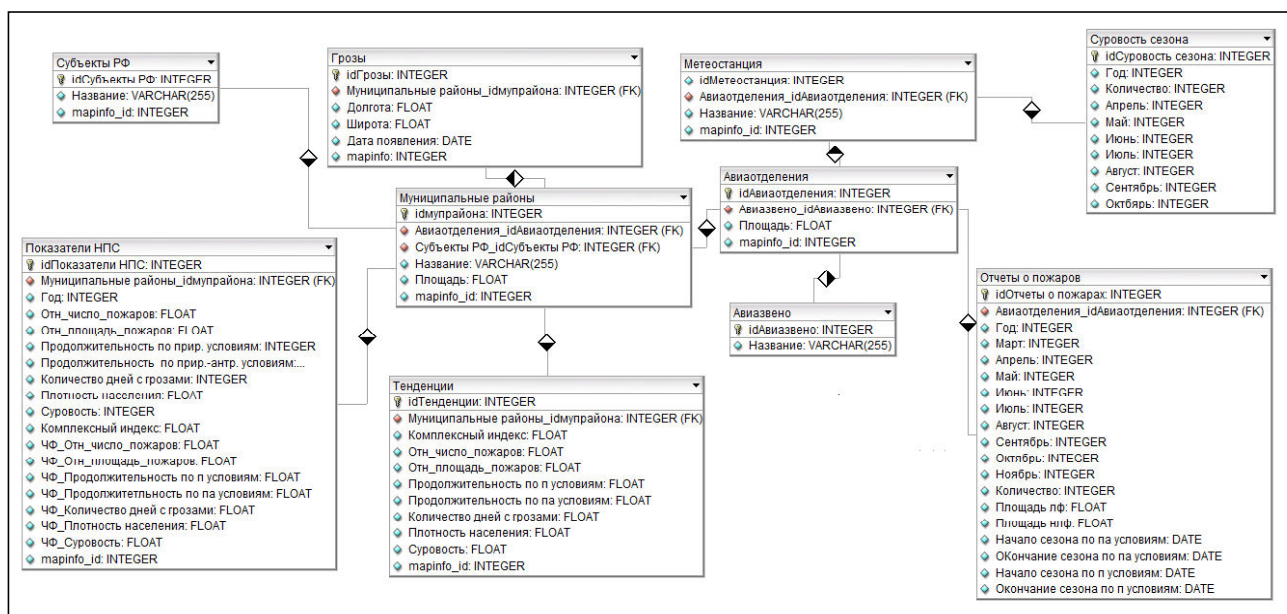


Рис. 1. Физическая структура базы данных

Fig. 1. Physical structure of the database

- Тенденции изменения показателя. Разрабатывается шкала нормирования показателя по математическому ожиданию и среднеквадратическому отклонению углов линейных трендов, по которой определяется степень их изменения за определенный временной интервал: аномальное понижение или повышение, понижение или повышение, слабое понижение или повышение, стабильная. Тенденции изменения $I_{КПИ}$ определяются по шкале Харрингтона.

Блок 4. «Визуализация тенденций изменения показателей и индекса КПИ». Производится экспорт и визуализация результатов расчетов показателей и индекса в виде текстовых документов и электронных таблиц Microsoft Office 2007, рабочие наборы векторных слоев ГИС MapInfo Professional 8.5 (рис. 2). В силу того, что в ГИС MapInfo Professional 8.5 и в последующих версиях не поддерживается хранение атрибутивных данных в Oracle MySQL 5.11, модуль позволяет экспортировать результаты расчетов в универсальный векторный слой MIF и формировать рабочие наборы инструментальной ГИС.

Заключение

На основе разработанной системы проведена оценка тенденций изменения комплексного пирологического индекса в 17 муниципальных райо-

нах Хабаровского края и в ЕАО с 1976 по 2012 гг.

Выбор значимых показателей проведен корреляционным анализом с количеством пожаров растительности. Наиболее тесная связь найдена между относительным числом пожаров и продолжительностью по природно-антропогенным факторам ($r=0,51$), суровостью сезонов ($r=0,6$), плотностью населения ($r=0,53$); при этом отсутствует связь от количества дней с грозами и относительной площади пожаров, поэтому данные показатели при расчете индекса не учитывались. Проверка значений индекса с 2008 по 2012 гг. показала, что он тесно связан с относительным числом пожаров растительности: коэффициент корреляции r находился в интервале от 0,59 до 0,71.

Для всех массивов значимых показателей и индекса показано наличие трендовой составляющей по критерию Аббе-Линника, определены углы линейных трендов (α), проверено соответствие массива углов критерию Колмогорова-Смирнова. Рассчитаны среднеквадратичные отклонения (σ) массивов углов и составлены шкалы ранжирования степени изменения показателей и индекса по величине $\bar{\alpha} \pm \sigma$.

Продолжительность сезона по природно-антропогенным факторам и суровость сезона имеют однонаправленный повышающийся тренд на всей

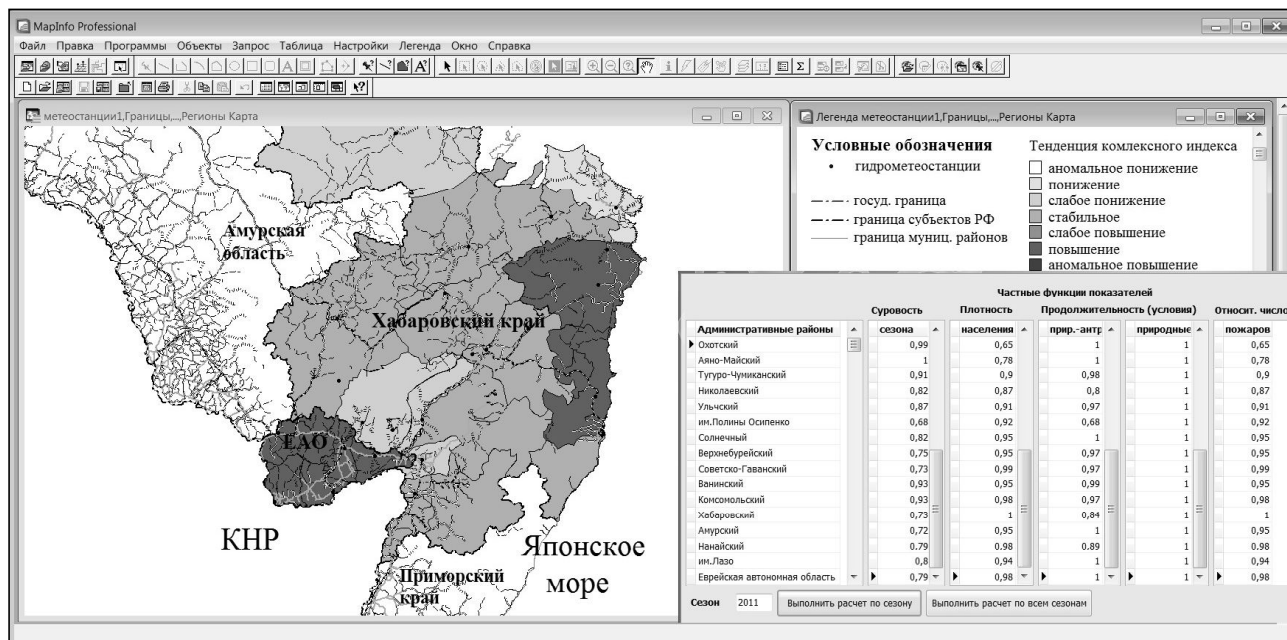


Рис. 2. Внешний вид модуля системы для расчета комплексного пирологического индекса и визуализации тенденций его изменения

Fig. 2. Appearance of the module's system for calculation of a composite pyrological index and visualization of tendencies to its change

исследуемой территории, кроме трех районов (Охотский, Солнечный, Советско-Гаванский) в центре и на севере Хабаровского края, во многом это объясняется увеличением суровости в начале и в конце сезонов.

Плотность населения как источник антропогенных пожаров имеет устойчивый отрицательный тренд, связанный с уменьшением количества жителей в муниципальных районах (например, на территории ЕАО – 13,2 человек/км² /10 лет), кроме Хабаровского района Хабаровского края, где наблюдается высокий положительный тренд (+6,2 человек/км² /10 лет), но их связь с количеством пожаров неоднозначна. Так, в южных районах Хабаровского края (Хабаровский, Нанайский) происходит увеличение количества пожаров при одновременном уменьшении населения, а в ЕАО – значительное увеличение относительного числа пожаров (10,3 пожар/100 тыс. га за 10 лет) несмотря на значительный отток населения.

Изменение индекса имеет понижающийся тренд в большинстве районов, за исключением Хабаровского и Нанайского районов Хабаровского края и ЕАО, где наблюдается его заметное увеличение, Солнечного, Ванинского, Амурского, им. Лазо, Бикинского и Вяземского районов, где он практически стабилен (рис. 3). В 13 из 16 (81%) районов тенденции имеют одинаковое направление с изменением относительного числа пожаров.

Особое внимание было уделено анализу изменения суровости внутри пожароопасных сезонов в связи с происходящими (и ожидаемыми) изменениями климатических условий, в том числе и на Дальнем Востоке России. Для этого рассчитаны многолетние ежемесячные значения суровости сезонов по данным каждой ГМС. Построено 112 линейных трендов и разработана шкала дифференцирования суровости по среднему значению и среднеквадратическому отклонению углов линейных трендов. Показано, что суровость увеличива-

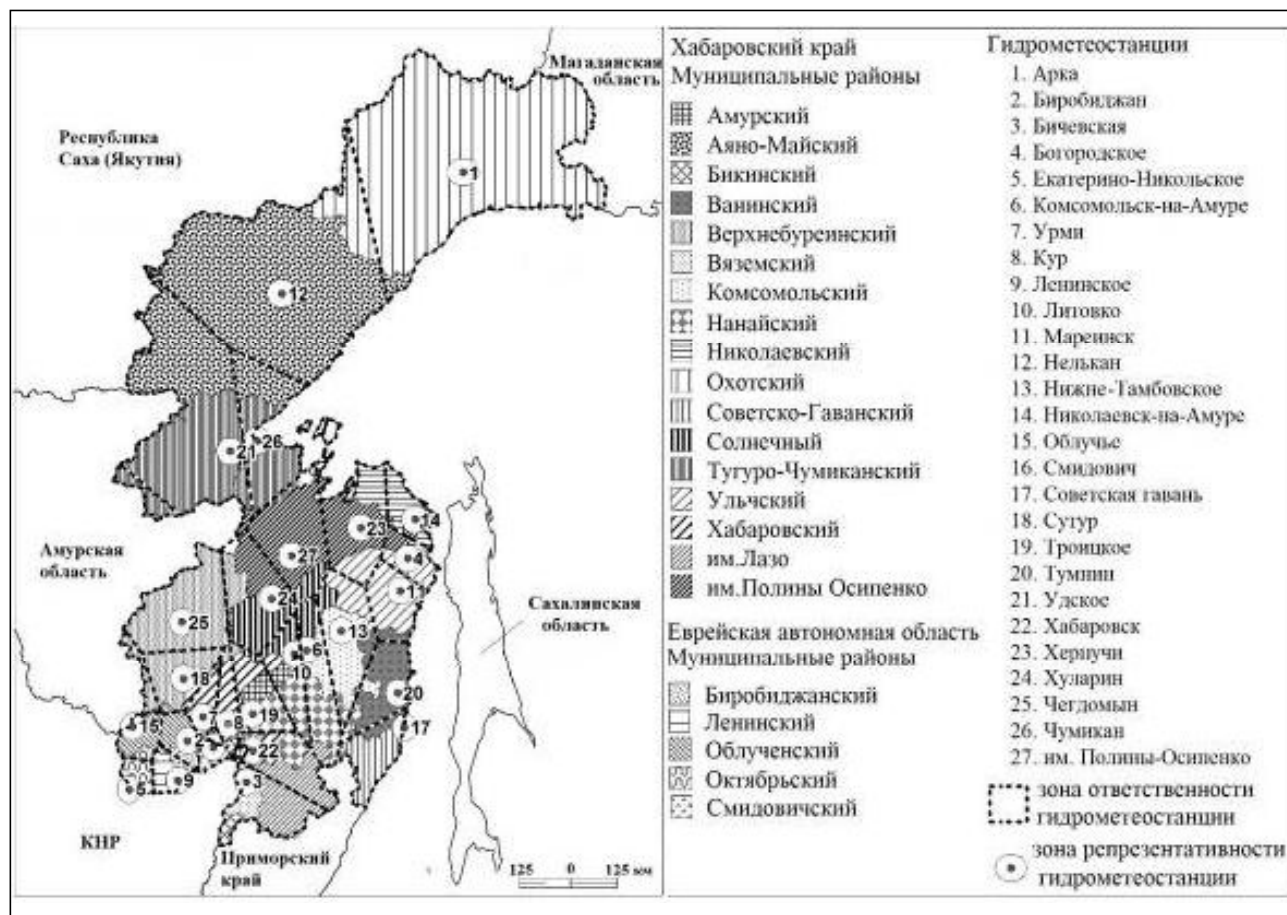


Рис. 3. Муниципальные районы, зоны ответственности и репрезентативности гидрометеостанций на территории Хабаровского края и Еврейской автономной области

Fig. 3. Municipal districts, zones of responsibility and representativeness of hydro-meteorological stations in Khabarovsk Territory and Jewish Autonomous Region

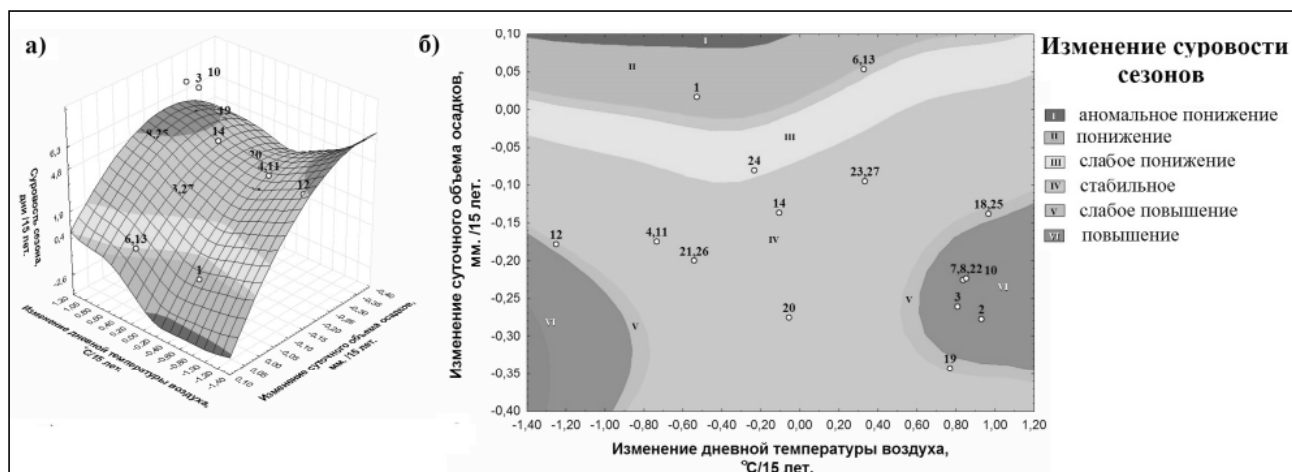


Рис. 4. Изменение суровости сезонов и гидротермического режима атмосферы на территории Хабаровского края и Еврейской автономной области с 1976 по 2012 гг. (а, б – трехмерный, двухмерный графики; 1 – номер гидрометеостанций в соответствии с рис. 3)

Fig. 4. Changes in the severity of seasons and hydrothermal mode of the atmosphere within the Khabarovsk Territory and Jewish Autonomous region, for the period of 1976–2012 (a, б, – three-dimensional; two-dimensional graphs; 1 – hydro-meteorological stations numbers in accordance with fig. 3)

ется в ЕАО в мае, июне и июле, в центральной и северной частях Хабаровского края в конце весеннего и летнего периода, на юге края она достигает максимума в сентябре.

Изменение сезонной суровости обусловлено влиянием температурно-влажностного режима приземной атмосферы, который определяется дневной температурой воздуха и суточным объемом осадков, имеющим в большинстве районов разнонаправленные тренды (рис. 4).

Повышение суровости сезонов наблюдается при увеличении угла тренда максимальной дневной температуры более $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ лет}$ и уменьшении угла тренда суточного объема осадков с $0,3$ до $0,15\text{ мм}/15\text{ лет}$, или при уменьшении максимальной дневной температуры воздуха с $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ лет}$ до $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ лет}$ и увеличении объема осадков с $-0,05$ до $0,1\text{ мм}/15\text{ лет}$, например, в Хабаровском, Амурском, им. Лазо, Бикинском, Вяземском районах Хабаровского края и в ЕАО. Наибольший прирост суровости сезонов зафиксирован в Комсомольском и Амурском ($7,4$ дней/ 15 лет и $8,1$ дней/ 15 лет), а наименьший – в Охотском ($-0,3$ дня/ 15 лет) районах Хабаровского края.

Таким образом, разработанная система позволяет рассчитывать комплексный пирологический индекс, который соответствует плотности пожаров растительности, и определять направле-

ния его изменения при различных сочетаниях климатических и антропогенных условий.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН № 15-1-6-019.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гелашвили Д.Б., Лисовенко А.В., Безруков М.Е. Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод // Поволжский экологический журнал. 2010. № 4. С. 343–350.
2. Глаголев В.А. Создание баз данных для оценки и прогноза пожарной опасности растительности по природно-антропогенным условиям // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 78–82.
3. Глаголев В.А., Коган Р.М. Геоинформационная система прогноза возникновения пожаров растительности в условиях муссонного климата средних широт // Геоинформатика. 2009. № 4. С. 8–16.
4. Институт демографии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». URL: <http://www.demoscope.ru> (дата обращения: 10.04.2017).
5. Коган Р.М., Глаголев В.А. Влияние пирологических характеристик растительности Сред-

- него Приамурья на вероятность возникновения пожаров // Региональные проблемы. 2016. Т. 19, № 1. С. 22–29.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 25. Хабаровский край, Амурская область. Л.: Гидрометеиздат, 1992.
 7. Савиных В.П., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Информационные технологии в системах экологического мониторинга / Моск. гос. ун-т геодезии и картографии. М.: Геодэскартиздат, 2007. 392 с.
 8. Harrington E.C. The desirability function // Industrial Quality Control 21. 1965. № 10. P. 494–498.

INFORMATION SYSTEM EVALUATION FOR COMPOSITE PYROLOGICAL INDEX IN KHABAROVSK TERRITORY AND JEWISH AUTONOMOUS REGION

V.A. Glagolev, A.M. Zubareva

The authors have proposed and created the system for evaluation of a composite pyrological index on base of a complex of natural and anthropogenic factors determining vegetation. It has been found out that pyrological index corresponds to the density of vegetation fires. It can be used to identify trends in the characteristics of seasons, in order to develop long-term programs for modernization of fire monitoring, taking into account the forecasts for changes in climatic and socio-economic conditions in a particular area.

Keywords: *composite index, system, vegetation fires, fire danger.*