

MODELING THE CONTRIBUTION OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE FORESTS IN IRKUTSK REGION, RUSSIA

Anastasia K. Popova⁽¹⁾, Evgeny A. Cherkasin⁽¹⁾, Igor N. Vladimirov⁽²⁾

⁽¹⁾ Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS, Irkutsk, Russia

⁽²⁾ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

Described software system for forest resources modeling on the case study of Irkutsk region on the basis of a model for the calculation of age classes over wide areas, taking into account the economic development of the territory. Various scenarios for the development of forests have been calculated, differing in the volume of natural and anthropogenic factors. A quantitative assessment of the impact of changes in anthropogenic factors on forest dynamics was made.

Keywords: forest resource dynamics, forest models, forest landscapes maps, anthropogenic disturbances.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Попова А.К.⁽¹⁾, Черкашин Е.А.⁽¹⁾, Владимиров И.Н.⁽²⁾

⁽¹⁾ Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, г. Иркутск

⁽²⁾ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Рассмотрен программный комплекс моделирования динамики лесных ресурсов Иркутской области на основе модели, предназначенной для расчетов по классам возраста на обширных площадях с учетом хозяйственного освоения территории. Рассчитаны различные сценарии развития леса, отличающиеся объемом влияния природных и антропогенных факторов. Проведена количественная оценка влияния изменения величины антропогенного воздействия на динамику лесов.

Ключевые слова: динамика лесных ресурсов, модели леса, карты лесных ландшафтов, антропогенное влияние.

Введение. Экологическое прогнозирование и моделирование являются важными инструментами в изучении динамики лесных ресурсов. Правильная оценка параметров изменения растительности позволяет строить модели, наиболее приближенные к реальности [1-3]. Информационные системы, взаимодействующие с системами моделирования лесопользования, учитывающими антропогенное влияние, обеспечивают поддержку принятия управленческих решений. Расчет последствий реализации различных решений помогает оценить развитие лесов в зависимости от условий каждого сценария [4-6].

В работе проведено моделирование зависимости динамики лесных ресурсов от различных видов антропогенного воздействия. На основе результатных данных

определена количественная оценка влияния изменения величины антропогенного воздействия на динамику лесов. Полученная оценка предназначена для формирования региональной стратегии использования лесных ресурсов.

Модель. Модель «Динамика древостоев» составлена на основе работ А.К. Черкашина [7]. Здесь динамика описывается системой дифференциальных уравнений. На моделируемой территории выделяются площади земель разных типов: нелесная, не покрытая лесом, молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. Динамика каждого участка описывается формулами вида (1):

$$\begin{aligned} \frac{dS_N}{dt} &= -a_{N0}S_N(t) + u_{non N}(t); \\ \frac{dS_0}{dt} &= a_{N0}S_N(t) - a_{01}S_0(t) + u_{ncov 0}(t) + u_{cut 0}(t) - u_{non 0}(t); \\ \frac{dS_i}{dt} &= a_{i-1i}S_{i-1}(t) - a_{i i+1}S_i(t) - u_{non i}(t) - u_{ncov i}(t) - u_{cut i}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где a_{ij} – коэффициенты перехода из одной категории земель или группы возраста в следующую; S_N – нелесная площадь; S_0 – не покрытая лесом площадь; S_i – лесные площади разных классов возраста; $u_{non i}$ – ежегодное увеличение нелесной площади за счет других категорий земель; $u_{ncov i}$ – увеличение не покрытой лесом площади; $u_{cut i}$ – площадь рубок.

Ежегодное уменьшение объемов лесных ресурсов происходит из-за воздействия природных неблагоприятных факторов и антропогенного использования. Для лесных ресурсов Иркутской области существует ряд разрешенных видов использования:

- заготовка древесины;
- ведение сельского хозяйства;
- рекреационная деятельность;
- разработка месторождений полезных ископаемых, работы по геологическому изучению недр;
- строительство и эксплуатация линейных объектов;
- строительство и эксплуатация водохранилищ и иных гидротехнических сооружений;
- переработка древесины и иных лесных ресурсов.

Увеличение нелесной площади в процессе эксплуатации лесов представляется формулой (2):

$$u_{non} = k_N \Delta N + \Delta S + \Delta R + \Delta G + \Delta Bl + \Delta Bv, \quad (2)$$

где k_N – площадь поселков на одного человека, остальные коэффициенты характеризуют увеличение: ΔN – населения лесничества, ΔS – сельскохозяйственных площадей, ΔR – рекреационных зон, ΔG – площади месторождений, ΔBl – строительства линейных объектов, ΔBv – обслуживания гидротехнических сооружений.

Переход других категорий земель в нелесные производится случайным образом, в зависимости от потребностей производства. Исходя из этого, распределение u_{non} по остальным категориям земель полагаем пропорциональным текущей площади каждого участка (3):

$$u_{non i} = u_{non} * \frac{S_i}{\sum_i S_i} \quad (3)$$

Ежегодно леса подвергаются воздействию набора природных неблагоприятных факторов. На ослабление и гибель лесных насаждений Иркутской области влияют:

- пожары;
- болезни леса;
- повреждение насекомыми;
- неблагоприятные погодные условия;
- другие антропогенные и непатогенные факторы.

Сильнее всего на усыхание и гибель лесных ресурсов влияют пожары (43,7%), болезни леса (25,2%) и повреждения насекомыми (16,2%), поэтому именно эти факторы целесообразно учитывать в расчетах (4):

$$u_{ncov} = S_g + S_{nas} + S_b, \quad (4)$$

где S_g – площадь лесов, погибших от пожара; S_{nas} – площадь лесов, поврежденных насекомыми; S_b – площадь лесов, погибших от болезней.

Распределение u_{ncov} по категориям земель считается аналогично (3).

Программный комплекс. Программный комплекс реализован на языке программирования Java. Расчетный блок загружает исходные данные для моделирования из файлов формата Microsoft Excel. В них представлены сведения по лесничествам: распределение площади по категориям земель и классам возраста, объемы рубок, запасов, лесопосадок, количество населения, значения параметров антропогенного использования и природных факторов. При расчетах показатель количества населения увеличивается с каждым годом на известную величину ежегодного прироста численности населения. Значения параметров антропогенного использования и природных факторов для каждого лесничества считаются постоянными на всем периоде моделирования.

После запуска программы пользователь задает начальные значения – период и шаг расчетов. Численное решение системы дифференциальных уравнений производится методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Комбинация параметров – объемы рубок, лесопосадок и воздействия неблагоприятных условий – задается в процентном отношении к имеющимся на текущий момент и образует сценарий управления ресурсом.

Year	Code	Leshoz	Sn	S0	S1	S2	S3	S4	Sum
0	11252201	Марковский	30680.0	10447.0	105957.0	155632.0	103570.0	568864.0	934023.0
1	11252201	Марковский	30861.408904	15161.530423	104572.905104	154809.772847	102524.280493	567319.48118	929226.439623
2	11252201	Марковский	31041.02162	19462.19231	103644.922301	153978.462987	101502.617218	565739.514867	924865.517373
3	11252201	Марковский	31220.625356	23422.471823	103121.981516	153139.718634	100494.164465	564108.726648	920864.591263
4	11252201	Марковский	31398.433085	27031.227807	102970.860121	152310.769917	99508.468892	562443.673767	917233.772696
5	11252201	Марковский	31574.462766	30319.371207	103150.96724	151499.406559	98544.925036	560745.263489	913940.562325
6	11252201	Марковский	31748.732179	33315.093598	103625.475173	150712.376458	97603.084374	559014.381753	910955.317758
7	11252201	Марковский	31921.258927	36044.106426	104360.983628	149955.489035	96682.631097	557251.89861	908251.00237
8	11252201	Марковский	32092.060436	38529.859207	105327.213614	149233.709159	95783.360638	555458.672791	905802.956201
9	11252201	Марковский	32261.153959	40793.738526	106496.728369	148551.242458	94905.160659	553635.555517	903588.687002
10	11252201	Марковский	32428.556574	42855.249529	107844.67895	147911.612809	94047.994261	551783.393631	901587.679651
11	11252201	Марковский	32594.285191	44732.18145	109348.572314	147317.73268	93211.885199	549903.032136	899781.222329
12	11252201	Марковский	32758.35655	46440.758574	110988.0599	146771.966983	92396.904888	547995.316215	898152.247986
13	11252201	Марковский	32920.787222	47995.777916	112744.74492	146276.191001	91603.161035	546061.092782	896685.189738
14	11252201	Марковский	33081.593615	49410.734793	114602.006691	145831.842934	90830.787709	544101.21165	895365.848984
15	11252201	Марковский	33240.79197	50697.937342	116544.840531	145439.971528	90079.936724	542116.526335	894181.275119

Init value: Max period: 50 dt: 0,01

ReCalculate

Cutting 100
 Planting 100
 Natural factors 100

Close

Рис. 1. Интерфейс программы

ГИС-подсистема строит карты на основе картографического материала формата SHP с помощью библиотеки OpenMap. При этом каждое лесничество раскрашивается определенным цветом в зависимости от величины выбранного параметра. В полученной раскраске более светлый цвет соответствует меньшему значению параметра, более темный – большему.

Для создания карты пользователь выбирает категорию земель для отображения, расчетные данные по этой категории делятся на 5 групп, в итоге каждое лесничество получает соответствующее значение раскраски. Для определения диапазонов берутся относительные величины: отношение разницы текущей площади выбранной категории земель и ее начального значения к общей площади лесничества. Готовую карту можно сохранить как изображение в формате JPEG.

Сценарные расчеты. Оценим динамику лесных ресурсов Иркутской области на 200 лет, суммарно площади в тыс. га по всем лесничествам. За основу взяты данные за 2017 год по категориям земель и классам возраста лесных ресурсов всех 37 лесничеств на территории Иркутской области.

Рассмотрено 5 сценариев:

- 1) Текущие уровни рубки, лесопосадок и воздействия неблагоприятных факторов.
- 2) Уменьшение воздействия природных неблагоприятных факторов в 2 раза.
- 3) Увеличение объема лесопосадок в 2 раза.
- 4) Увеличение вырубаемых площадей в 2,5 раза, что соответствует полному освоению расчетной лесосеки.
- 5) Увеличение рубок в 2,5 раза, посадок – в 2 раза, уменьшение воздействия неблагоприятных факторов в 2 раза.

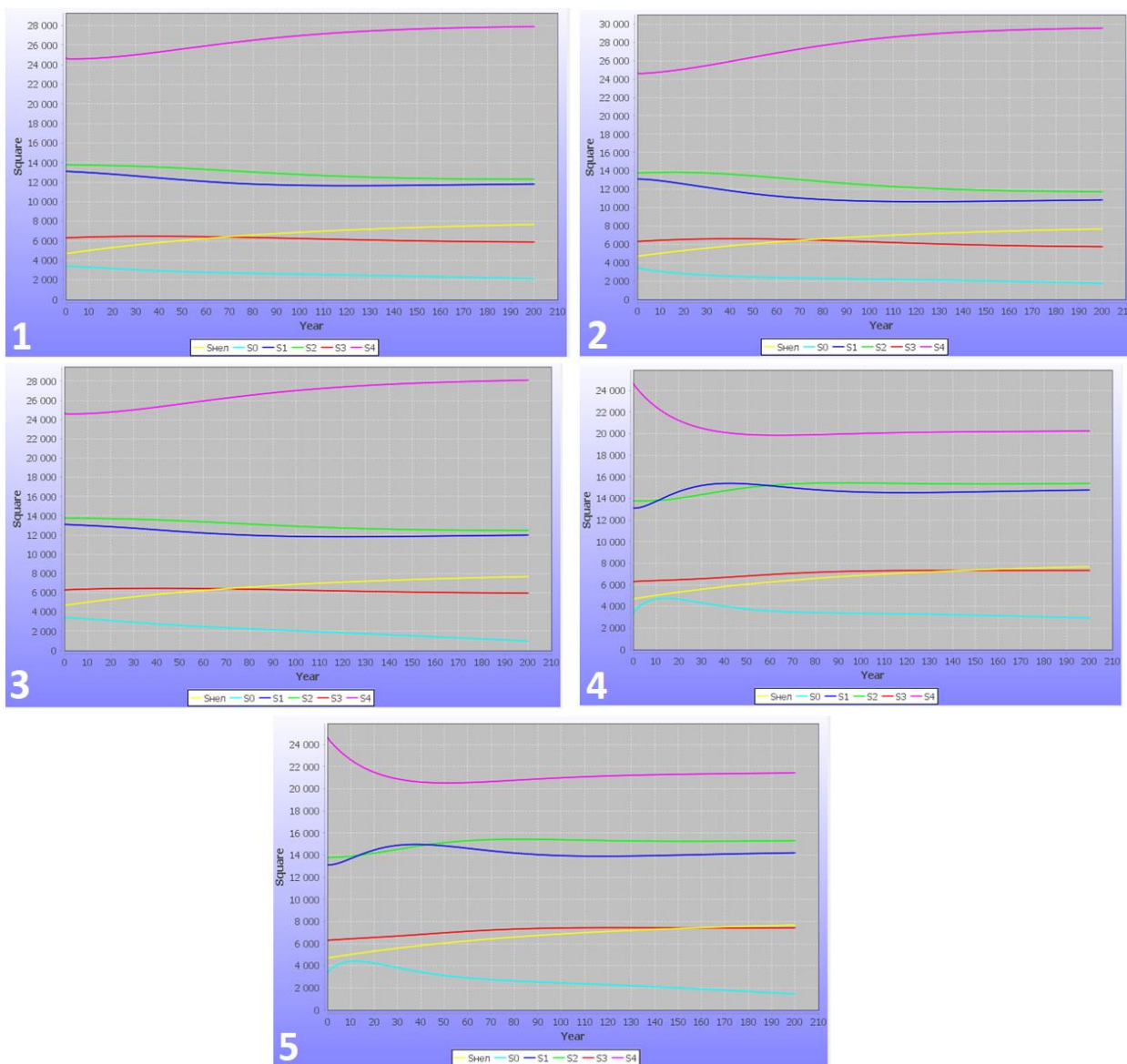


Рис. 2. Графики динамики лесных ресурсов по 5 сценариям

Мы видим, что при текущих уровнях природного и антропогенного воздействия в долгосрочном периоде площади спелых и перестойных лесов уверенно растут, как и нелесные земли. Леса младших категорий возраста плавно убывают первые 100 лет, затем остаются на одном уровне. Во втором сценарии наблюдаем резкий рост спелых и перестойных лесов при небольшом снижении запасов лесов младших возрастных категорий и не покрытых земель. В третьем сценарии отмечен рост лесных площадей всех категорий при уменьшении не покрытых лесом.

В четвертом сценарии освоение лесосеки приведет к заметному снижению уровня спелых и перестойных лесов на протяжении первых 50 лет при повышении площадей младших возрастных категорий. В последнем сценарии увеличении объема рубок компенсируется одновременным увеличением лесопосадок и уменьшением неблагоприятных факторов: запасы спелых и перестойных в начале периода снижаются менее заметно, затем начинают возрастать.

Результаты моделирования выведены на карту Иркутской области, в качестве показателя взята суммарная площадь лесных ресурсов по всем категориям возраста. На рисунке 3 цвета 1-2 соответствуют отрицательным значениям относительно начального –

убывание, цвет 3 – незначительные колебания, цвета 4-5 – положительные значения, рост площадей. Здесь видно, что антропогенному влиянию больше всего подвержены лесничества, расположенные в центральной части области. В больших лесничествах на севере и востоке области из-за низкой транспортной доступности лесные площади сохраняются на одном уровне, независимо от сценария.

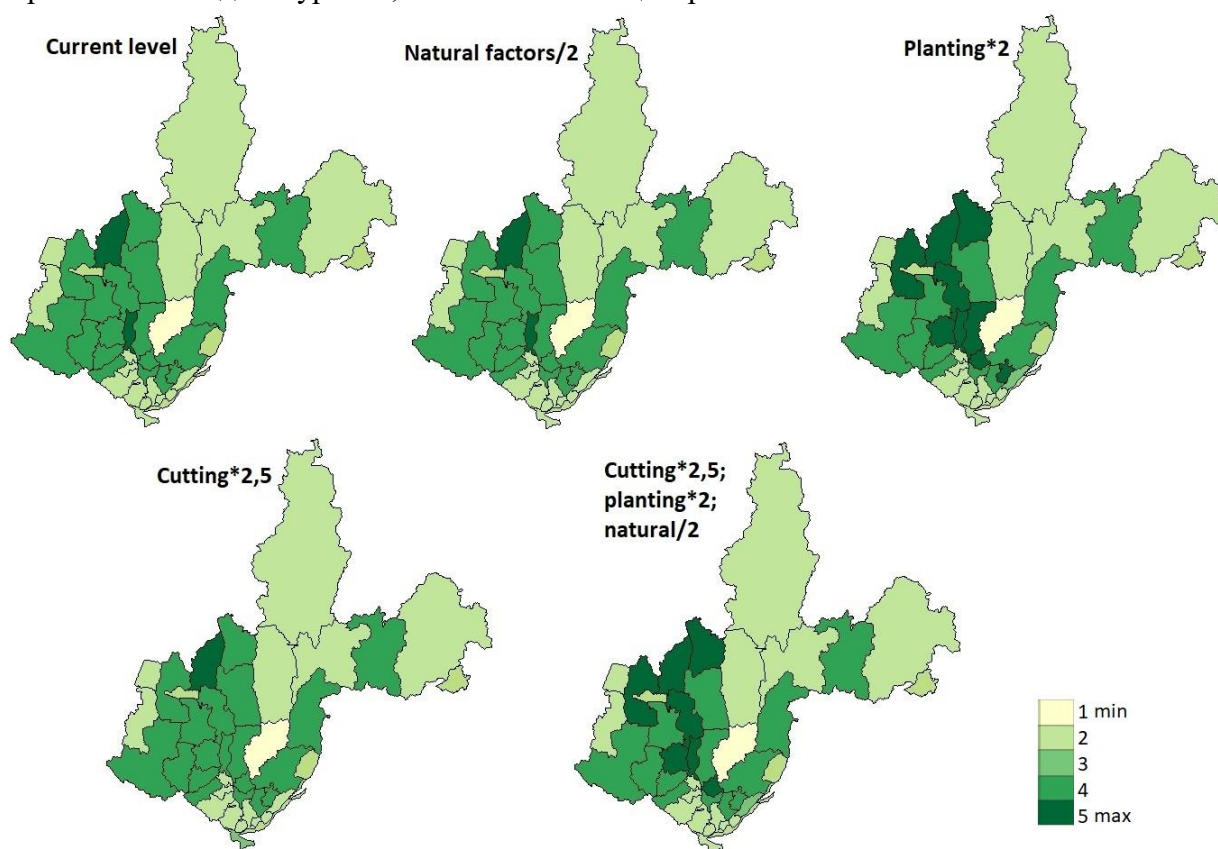


Рис. 3. Карты с результатами расчетов по сценариям

Рассмотрим сводные данные по изменению общей площади леса при расчетах по этим сценариям. Результаты сравнения приведены в таблице. При расчете по текущим уровням к концу периода моделирования лесные площади спелых и перестойных деревьев увеличатся на 13,1%, леса младших возрастных категорий уменьшатся на величину от 6,7% до 10,7%. При уменьшении воздействия неблагоприятных факторов в 2 раза площади спелых и перестойных возрастут на 19,8%. При увеличении лесопосадок в 2 раза площадь последней возрастной категории увеличится на 13,9%.

Увеличив рубки в 2,5 раза, мы получим снижение площадей спелых и перестойных на 17,9%. В последнем сценарии в этой категории наблюдается снижение на 13,1%.

Таблица. Сравнение результатов расчетов по сценариям с начальными значениями

	Молодняки		Средневозрастные		Приспевающие		Спелые и перестойные	
	Площадь, га	Разница, %	Площадь, га	Разница, %	Площадь, га	Разница, %	Площадь, га	Разница, %
Начальное значение	13105		13775		6299		24666	
Текущие уровни	11802	-9,9	12296	-10,7	5877	-6,7	27908	13,1

Природные/2	10827	-17,4	11733	-14,8	5734	-8,9	29560	19,8
Посадки *2	11985	-8,5	12482	-9,4	5963	-5,3	28098	13,9
Вырубка *2,5	14776	12,7	15387	11,7	7323	16,3	20245	-17,9
Вырубка *2,5; посадки *2; природные/2	14203	8,4	15313	11,2	7423	17,8	21428	-13,1

Результаты моделирования показали, что увеличение объемов рубок для освоения расчетной лесосеки приведет к заметному сокращению лесов. Если же увеличение рубок дополнить увеличением посадок деревьев и усилением борьбы с природными факторами, особенно лесными пожарами и болезнями леса, то компенсировать сокращение лесов получится гораздо раньше.

Заключение. Разработанный программный комплекс позволяет моделировать динамику лесных ресурсов с учетом воздействия комплекса природных и антропогенных факторов. Он также помогает принимать управленческие решения в лесохозяйственной отрасли, показывая направление изменения площадей конкретной категории земель в зависимости от заданного сценария.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционной программы ИИЦ СО РАН. Результаты получены при использовании ЦКП «Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса» (<http://net.icc.ru>).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Scheller, R.M.; Mladenoff, D.J. A spatially interactive simulation of climate change, harvesting, wind, and tree species migration and projected changes to forest composition and biomass in northern Wisconsin, USA. *Glob. Chang. Biol.* 2005, 11, 307–321.
- [2] Abood, S.A.; Lee, J.S.H.; Burivalova, Z.; Garcia-Ulloa, J.; Koh, L.P. Relative contributions of the Logging, Fiber, Oil Palm, and mining industries to forest loss in Indonesia. *Conserv. Lett.* 2015, 8, 58–67.
- [3] Wu, Z.; Ge, Q.; Dai, E. Modeling the relative contributions of land use change and harvest to forest landscape change in the Taihe County, China. *Sustainability* 2017, 9, 708.
- [4] Popradit A., Srisatit T., Kiratiprayoon S., Yoshimura J., Ishida A., etc. Anthropogenic effects on a tropical forest according to the distance from human settlements. *Scientific Reports*, 2015, 5, 14689.
- [5] Shifley S. R., He H. S., Lischke Y., Wang W. J., etc. The past and future of modeling forest dynamics: from growth and yield curves to forest landscape models. *Landscape Ecol.* 2017, 32:1307–1325.
- [6] Musi C., Anggoro S., Sunarsih. System dynamic modelling and simulation for cultivation of forest land: case study Perum Perhutani, Central Java, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering* Volume 18, Issue 4, July 2017, pages 25–34.
- [7] Cherkashin A.K. Forecasting the spatial and temporal dynamics of forests of taiga landscape. *Dynamics of Ecologo-Economic Systems.* Novosibirsk, Nauka, 1981, 107-111
- [8] Popova A.K., Vladimirov I.N. Multilevel Modeling of the Forest Resource Dynamics // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena.* 2009. Vol. 4, №5. pp. 72-88

- [9] Vladimirov I.N., Chudnenko A.K. Forecasting of the spatio-temporal dynamics of the forest resources of the Irkutsk region using GIS technologies. Sun. Earth, Water, and Energy. Transactions of the Siberian Division of APVN, issue 2. Novosibirsk, Nauka, 2005, 61–68.
- [10] Cherkashin E.A., Badmatsyrenova S. B., Vladimirov I.N., Popova A.K., Davydov A. An optimal control module of sustainable natural resources consumption control synthesis for decision support systems // 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), DOI: 10.1109/MIPRO.2014.6859733, 2014. pp. 1100-1105.