



## References

1. Buslenko N.P., Kalashnikov V.V., Kovalenko I.N. *Lektsii po teorii slozhnykh sistem* [Lectures on the theory of complex systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1973, 439 p.
2. Mirskii G.Ia. *Kharakteristiki stokhasticheskoi vzaimosvazi i ikh izmereniia* [Characteristics of stochastic relationships and their measurements]. Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 320 p.
3. Petrov A.V. Ischislenie smeshannykh momentov vysshikh poriadkov pri polinomial'noi zavisimosti sluchainykh velichin [Calculation of mixed higher order moments under polynomial dependence of random variables]. *Vestnik IrGTU – Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2015, no. 11 (106), pp. 16–22.
4. Petrov A.V. Momentnye funktsii kak otrazhenie polinomial'noi veroiatnostnoi zavisimosti [Moment functions as a reflection of a polynomial probabilistic dependency]. *Vestnik IrGTU – Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2015, no. 10 (105), pp. 37–44.

УДК 004.89; 332.62

**УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТИВНЫХ ЗЕМЕЛЬ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРОЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА**© К.В. Раевич<sup>1</sup>, И.В. Зеньков<sup>2</sup>, Ю.А. Маглинец<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Сибирский федеральный университет,

660074, Россия, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26.

<sup>2</sup>Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН,

660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 53.

Представлена методика оценки агроэкономического потенциала продуктивных земель сельскохозяйственного назначения для практического применения в решении и реализации задач управления их использования. Разработанная методика регламентирует взаимодействие пользователя и интеллектуальной информационной системы оценки земель в процессе настройки на конкретную решаемую задачу; предполагает на начальном этапе ее создания формирование и функционирование экспертной сети, а также наличие процесса формирования оценок. *Ключевые слова:* управление использованием земель; ранговая оценка факторов; интеллектуальная информационная система оценки; ГИС-инструментарий; метод «снежного кома».

**MANAGEMENT OF KRASNOYARSK REGION AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ARABLE LAND USE BASED ON THE INDICATORS OF AGRO-ECONOMIC POTENTIAL**

K.V. Raevich, I.V. Zenkov, Yu.A. Maglinets

Siberian Federal University,

26 Akademika Kirenskogo St., Krasnoyarsk, 660074, Russia.

Special Design and Technological Bureau "Nauka" of the Krasnoyarsk Research Center SB RAS,

53 Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia.

The article presents the methodology estimating the agro-economic potential of arable agricultural lands to be employed in solving and implementation of the management tasks of their use. The developed methodology regulates the interaction between a user and land evaluating intelligent information system under setting up for a specific task to be solved. It also involves the formation and operation of an expert network at the initial stage of its creation as well as the availability of the process of estimate formation.

*Keywords:* management of land use; ordered estimate of factors; intelligent information system of evaluation; GIS tools; "snowball" method.

<sup>1</sup>Раевич Ксения Владиславовна, старший преподаватель кафедры систем искусственного интеллекта, e-mail: ksenia\_248@mail.ru

Raevich Ksenia, Senior Lecturer of the Department of Artificial Intelligence Systems, e-mail: ksenia\_248@mail.ru

<sup>2</sup>Зеньков Игорь Владимирович, старший научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, e-mail: zenkoviv@mail.ru

Zenkov Igor, Senior Researcher, Doctor of technical sciences, Professor, e-mail: zenkoviv@mail.ru

<sup>3</sup>Маглинец Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, профессор кафедры систем искусственного интеллекта, e-mail: maglinets@mail.ru

Maglinets Yurii, Candidate of technical sciences, Professor of the Department of Artificial Intelligence Systems, e-mail: maglinets@mail.ru



## Введение

Предметная область оценки агроэкономического потенциала земель – достаточно обширное поле деятельности. В рамках данной предметной области могут решаться существенно различные задачи, такие как: кадастровая оценка, определение рыночной стоимости, ранжирование земель в той или иной системе критериев, например – с целью определения очередности поэтапной рекультивации залежных земель, оценки степени пригодности земель для той или иной модели использования в аграрном секторе и многое другое [1–3, 6]. При этом в качестве объекта оценивания могут выступать как земли сельскохозяйственного назначения (ЗСХН), находящиеся в сельскохозяйственном обороте, так и залежи, перелого, целинные земли, земли, рекультивированные предприятиями горнодобывающей промышленности и др.

Необходимым условием для решения указанных задач является наличие знаний об объекте оценивания как о пространственно локализованном участке земной поверхности, характеризующемся совокупностью измеримых факторов. С одной стороны, земля, как природный ресурс, характеризуется расположением в пространстве, рельефом, почвами, растительным и животным миром и оценивается с позиции возможности выполнения ею многоцелевых функций. С другой стороны, земля, как объект хозяйственных отношений, оценивается с позиции полезности и доходности от использования конкретного участка. Кроме того, на оценку ЗСХН могут оказывать влияние экономические, физические, социальные факторы, характеристики местоположения (удаленность от населенных пунктов, наличие водоемов и др.), развитие транспортных сетей и т.д.

Очевидно, что факторы, значимые для решения одной задачи оценивания, могут быть малоценными для другой задачи и наоборот. Тем самым методика оценивания агроэкономического потенциала земель актуальна с точки зрения наличия способов настройки на конкретную решаемую

задачу. Результатом настройки является система факторов, релевантная решаемой задаче, определение средств их измерения в условиях конкретной природно-территориальной среды, способов ранжирования факторов и их значений, а также способа формирования финишной оценки. Основой для объективного оценивания ЗСХН является таксономия оценивания, освещенная в работах [4–6]. Методика базируется на использовании интеллектуальной системы оценивания ЗСХН, в которой представлена база знаний оценивания и подсистема ГИС, позволяющая осуществлять измерения факторов на конкретном поле данных.

**Описание методики.** Структура методики показана на рис. 1.

**На первом этапе** методики осуществляется формулировка задачи оценивания. При апробации методики рассмотрены две прикладные задачи: задача оценивания потенциальной эффективности использования земель для производства зерновых культур в Сухобузимском районе Красноярского края (задача 1); задача оценивания целесообразности ввода в сельскохозяйственный оборот внешних отвалов, рекультивируемых угольным разрезом «Бородинский» Рыбинского района Красноярского края (задача 2).

**На втором этапе** методики осуществляется формирование вычислительной процедуры оценивания.

В методике заложена базовая процедура, согласно которой оценка ЗСХН равна линейной комбинации значений оцениваемых факторов:

$$O(\text{ЗСХН}) = \sum_{i=1}^n k_i * f_i(\text{ЗСХН}), \quad (1)$$

где  $f_i$  – значение  $i$ -го фактора,  $k_i$  – значение весового коэффициента данного фактора,  $n$  – количество факторов, использующихся при оценивании.

Цель данного этапа – сформировать кортеж факторов  $F = \{f_i\}$  релевантных цели оценивания, а также уточнить способ вычисления для каждого  $f_i \in F$ . Этап осуществляется в диалоге между пользователем-экспертом и интеллектуальной информационной системой оценивания.



Рис. 1. Схема методики оценивания земель сельскохозяйственного назначения



Исходные данные для формирования кортежа  $F$  заложены в таксономии оценивания ЗСХН. Выполняя нисходящий поиск по таксономическому дереву, можно получить множество листовых вершин  $X = \{x_i\}$ . Задача эксперта – получить в диалоге с интеллектуальной системой оценивания подмножество  $F$  множества  $X$ , соответствующее сформированной на первом этапе методики задаче оценивания, а также уточнить способ вычисления для каждого  $f_i \in F$ .

В рассматриваемых примерах сформированы соответственно две системы факторов (рис. 2, 3), где к верхнему уровню факторов отнесены: СП – свойства почвы; ПкУ – природно-климатические условия; ФР – физические факторы рельефа; ЭФОИЗ – экономические факторы, обусловленные использованием земель; РП – растительный покров; ОИ – приведенное расстояние до объектов инфраструктуры.

На рис. 2, 3 представлены фрагменты таксономии оценивания ЗСХН, в которых экспертом выделены факторы, признанные как значимые для формирования оценок агроэкономического потенциала земель: СП1, СП2, СП3, СП5, СП6, ОИ2, ОИ3; ФР1, ФР5, ФР6, ФР7, ФР8, ФР9, ФР10, ФР11.

Затем определяются шкалы измерения факторов (первичная метрика), задается метрика оценивания результата измерения и определяется вычислительная процедура пересчета первичной метрики в метрику оценивания. Шкала измерения первичной метрики определяется физическими параметрами измеряемой величины. Для метрики оценивания используется шкала интервалов. Для простоты оперирования шкалы всех метрик оценивания нормированы в диапазоне [0–1].

**На третьем этапе** методики осуществляется формирование экспертного комитета. Выбор участников комитета осуществляется из наиболее авторитетных специалистов в предметной области оценивания. Для создания экспертного комитета при разработке балльной оценки ис-

пользовались элементы метода «снежного кома». Для измерения тесноты связи между ранжируемыми группами факторов используется коэффициент конкордации. Отметим, что рабочая группа не должна быть слишком большой по численности, в противном случае будет сложно достичь согласования оценок.

**На четвертом этапе** методики осуществляется ранжирование сформированной ранее системы факторов методами экспертных оценок. Для сбора мнений экспертов разработана авторская анкета. Экспертный опрос проводился в один тур путем одноразового заполнения анкеты. Экспертам предлагается определить важность конкретных факторов (табл. 1).

Оценка степени значимости вариантов экспертами производится путем процедуры ранжирования. Ранг 1 присваивается наиболее значимой группе факторов, действие которых может существенно увеличить оценку ЗСХН, и наоборот – ранг 7 – наименее значимой группе факторов. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер. На основе данных анкетного опроса составляется сводная матрица рангов.

Здесь и далее, ввиду ограниченного объема статьи, приведены количественные данные, иллюстрирующие решение задачи 1.

Сумма квадратов отклонений составила 2352. Число ранжируемых факторов равно 7, а число наблюдений равно 10. Рассчитаем коэффициент конкордации равный 0,84.

Квадрат суммы отклонений для каждого фактора рассчитывается согласно формуле

$$\Delta^2 = \left( \sum_{i=1}^m x_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}{n} \right)^2. \quad (2)$$

Сумма квадратов суммы отклонений равна

$$S = 676 + 169 + 4 + 289 + 729 + 289 + 196 = 2352$$

и используется при расчетах коэффициента конкордации. Проверка правильности составления матрицы осуществляется на основе исчисления контрольной суммы



$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = (1 + n) * n/2 = (1 + 7) * 7/2 = 28.$$

Суммы по столбцам матрицы равны между

собой и контрольной сумме, таким образом, матрица составлена корректно.

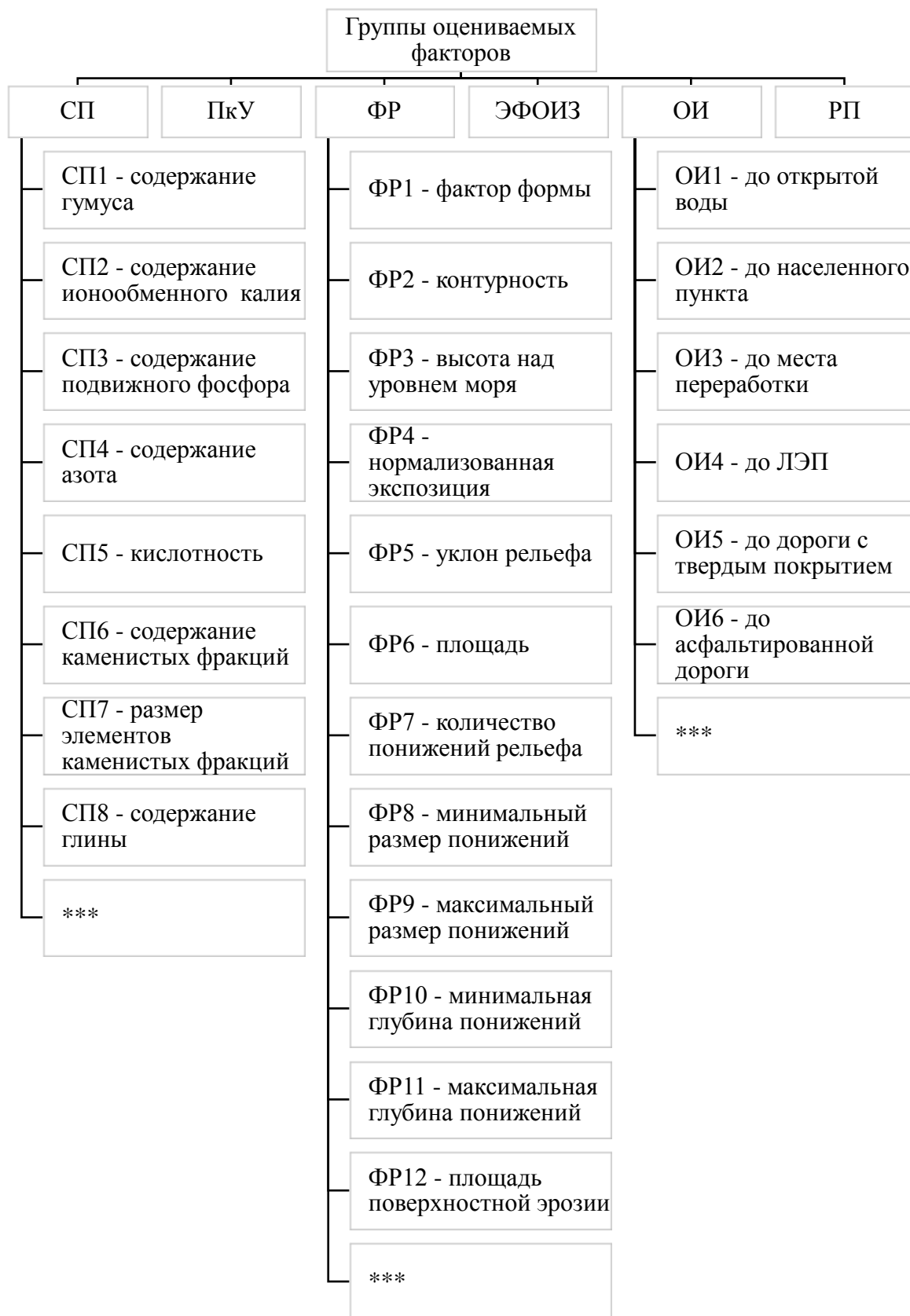


Рис. 2. Система факторов, сформированная экспертом для решения задачи 1

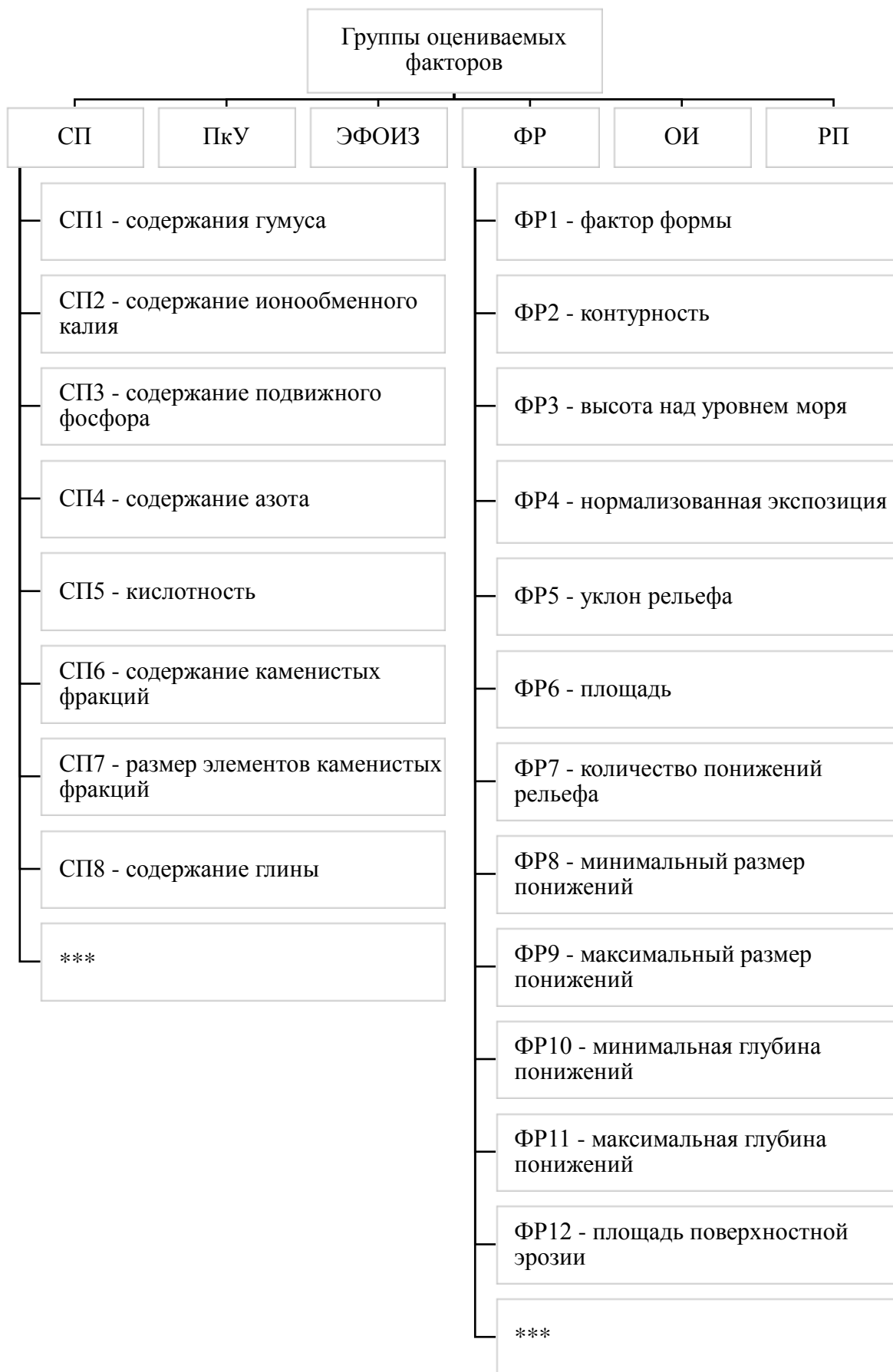


Рис. 3. Система факторов, сформированная экспертом для решения задачи 2



Таблица 1

**Расчетная таблица матрицы рангов для определения коэффициента конкордации**

Параметр	Фактор						
	СП1	СП5	ОИ2	ОИ3	ФР1	ФР5	ФР6
Эксперт 1	1	3	4	5	7	2	6
Эксперт 2	2	1	4	5	7	3	6
Эксперт 3	1	4	3	7	6	2	5
Эксперт 4	3	2	4	6	7	1	5
Эксперт 5	1	2	4	5	7	3	6
Эксперт 6	1	4	3	6	7	2	5
Эксперт 7	1	3	4	6	7	2	5
Эксперт 8	2	1	3	5	7	4	6
Эксперт 9	1	4	3	5	7	2	6
Эксперт 10	1	3	6	7	5	2	4
$\Sigma$	14	27	38	57	67	23	54
$\Delta$	-26	-13	-2	17	27	-17	14
$\Delta^2$	676	169	4	289	729	289	196
$k_i$	0,20	0,10	0,07	0,05	0,04	0,12	0,05

Значение весового коэффициента  $k_i$  для  $i$ -го фактора определяется как величина обратная нормализованной сумме рангов, соотнесенных экспертами к данному фактору.

**На пятом этапе** методики осуществляется оценка степени согласованности мнений экспертов.

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n)}. \quad (3)$$

Согласно уравнению 3, средняя степень согласованности экспертов равна  $W = 2352 / (1/12 \times 10^2 \times (7^3 - 7)) = 0,84$ , где  $W = 0,84$  говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Существенность коэффициента конкордации оценивается критерием согласования Пирсона по формуле

$$X^2 = \frac{S}{1/12mn(n+1)}. \quad (4)$$

При сравнении фактического значения

$$X^2 = \frac{2352}{\frac{1}{12} \times 10 \times 7 \times (7 + 1)} = \frac{2352}{46,57} = 50,4$$

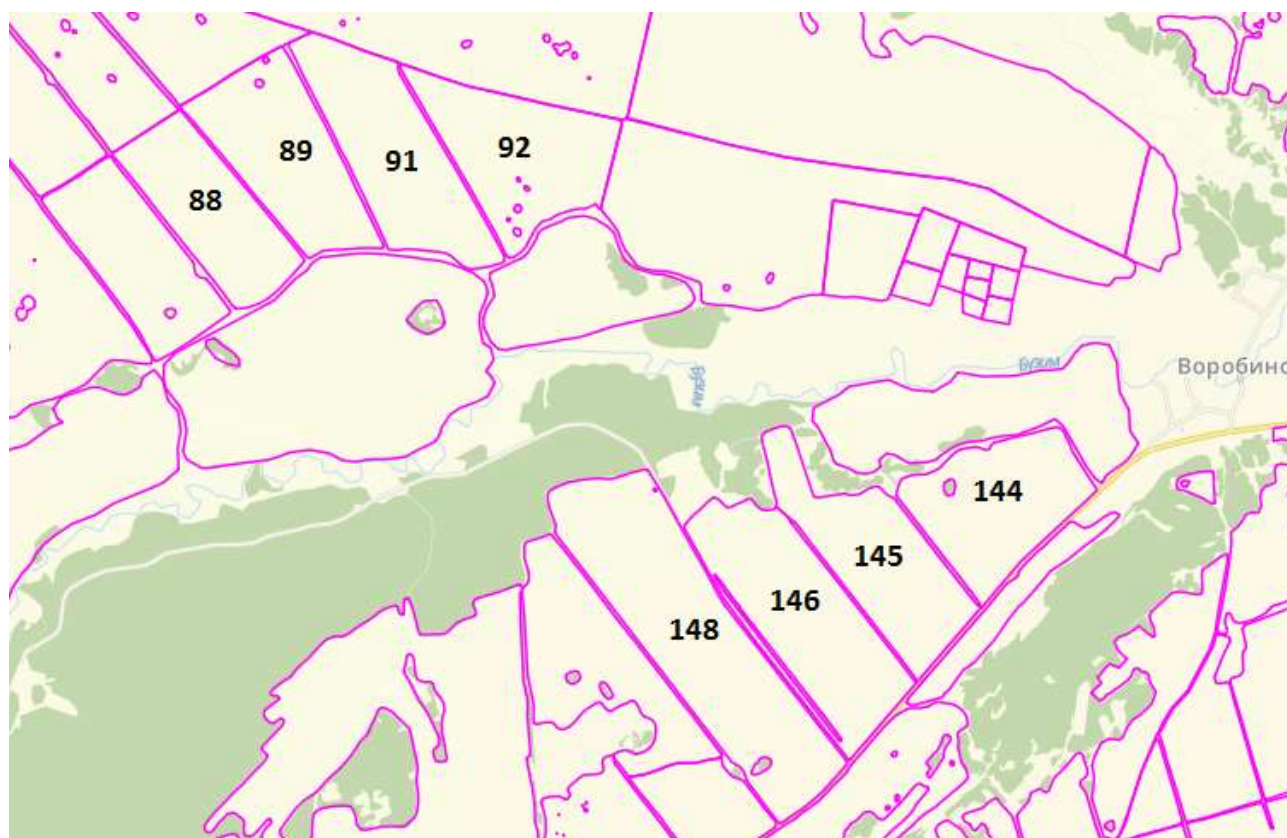
принимая уровень значимости  $\alpha$  для сельскохозяйственных расчетов равный 0,01, а число степеней свободы – 9. Поскольку рассчитанное нами  $X^2_{ФАКТ} > X^2_{ТАБЛ}$  ( $50,4 > 21,67$ ), то вполне очевидно, что число наблюдений является достаточным для того, чтобы признать значение коэффициента конкордации существенным и значимым.

**На шестом этапе** методики осуществляется апробация сформированных частных методик.

На рис. 4, 5 показаны примеры выборки геопространственных объектов, представленных для оценивания (задача 1 и задача 2).

В табл. 2 представлены результаты вычисления первичных метрик полей (задача 1).

В табл. 3 показаны результаты вычисления промежуточных и итоговых оценок для указанной выборки полей (задача 1).



*Рис. 4. Контуры сельхозугодий Сухобузимского района Красноярского края*



*Рис. 5. Контуры отвалов угольного разреза «Бородинский» (Рыбинский район Красноярского края)*





Таблица 2

## Значения первичных метрик ЗСХН

Номер поля	Фактор						
	СП1, %	СП5, рН	ОИ2, км	ОИ3, км	ФР1, балл	ФР5, градус	ФР6, га
88	8,3	5,5	10,7	11	0,8	2	65
89	8,2	7	10	11	0,8	2	78
91	7	8	8	10	0,8	2	80
92	7,5	8	7	10	0,7	2	96
144	8,4	7	6	7	0,7	2	74
145	6,6	7	6,5	7,5	0,8	2	76
146	7,6	6	7,2	8,2	0,8	2	95
148	2,1	5	7,8	8,8	0,8	2	135

Таблица 3

## Значения метрик оценивания ЗСХН

Номер поля	Фактор							Итоговое значение
	СП1	СП5	ОИ2	ОИ3	ФР1	ФР5	ФР6	
88	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,47
89	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,51
91	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,47
92	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,5	0,50
144	0,8	1	0,9	0,9	0,7	0,8	0,4	0,52
145	0,7	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,4	0,51
146	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,5	0,51
148	0,2	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,36

Результаты, полученные на данном этапе, характеризуют относительную степень пригодности тех или иных сельскохозяйственных контуров для производства зерновых культур, что позволяет ранжировать поля по этому признаку. Данные результаты предъявляются экспертам для оценивания по бинарной шкале «приемлемо/неприемлемо». В случае, если процент негативных оценок превышает 10%, осуществляется возврат к 4-му этапу для повторной корректировки весовых коэффициентов.

**Седьмой этап** методики сводится к практической апробации полученных соотношений при решении прикладных задач. В рассматриваемом случае были сформированы весовые коэффициенты, характеризующие соответственно оценочную степень эффективности использования сельскохозяйственных угодий Сухобузимского района Красноярского края для выращивания

злаковых культур и степень целесообразности ввода в сельскохозяйственный оборот рекультивируемых земель в угледобывающей зоне Рыбинского района Красноярского края.

**Заключение**

В работе рассмотрена методика оценки агроэкономического потенциала земель, базирующаяся на использовании интеллектуальной системы оценки земель сельскохозяйственного назначения. Необходимо отметить, что результаты оценки, получаемые в численном выражении, могут варьироваться в зависимости от формулировки задачи оценивания. Это зависит как от самого объекта оценивания (например, земли в сельскохозяйственном обороте, залежи, перелог), так и от целей оценки (например, оценка рыночной стоимости, кадастровой стоимости, затрат на единицу продукции и т.д.). В этой связи методика содержит средства адаптации на конкрет-



ную решаемую задачу оценивания.

В настоящее время разработанная методика проходит практическую апробацию при решении задачи оценивания потенциальной эффективности использования земель для производства зерновых культур и задачи оценивания целесообразности ввода в сельскохозяйственный оборот внешних отвалов, рекультивированных

угольными разрезами соответственно в Сухобузимском и Рыбинском районах Красноярского края. Сформированы две частные методики, предназначенные для решения указанных задач. Частные методики помещены в базу знаний системы и могут повторно использоваться при решении аналогичных задач без привлечения экспертов.

Статья поступила 12.02.2016 г.

#### Библиографический список

1. Гуреева О.В. Особенности земель сельскохозяйственного назначения как объекта оценки // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. № 4. С. 78–81.
2. Зеньков И.В. Результаты исследований поверхностей внешних отвалов, рекультивированных угольным разрезом «Бородинский» для сельскохозяйственного использования // Уголь. 2010. № 2. С. 69–73.
3. Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель Северного Казахстана по данным LANDSAT и MODIS / А.Г. Терехов, И.С. Витковская, М.Ж. Батырбаева, Л.Ф. Спивак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 292–304.
4. Шатрова К.В., Маглинец Ю.А. Методика автоматизации процесса детектирования залежных

земель // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. тезисов 10-й открытой Всероссийской конференции (Москва, 12–16 ноября 2012 г.). М.: Изд-во ИКИ РАН, 2012. С. 436.

5. Шатрова К.В., Маглинец Ю.А. Система поддержки принятия решений по оцениванию сельскохозяйственных угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. тезисов 12-й открытой Всероссийской конференции (Москва, 10–14 ноября 2014 г.). М.: Изд-во ИКИ РАН, 2014. С. 394.

6. Шатрова К.В., Маглинец Ю.А., Цибульский Г.М. Модель представления информации о состоянии и динамике земель сельскохозяйственного назначения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2014. Т. 7. № 8. С. 984–989.

#### References

1. Gureeva O.V. Osobennosti zemel' sel'skokhoziaistvennogo naznacheniiia kak ob'ekta otsenki [Features of agricultural lands as estimation objects]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* – [Bulletin of Saratov state social-economic university], 2008, no. 4, pp. 78–81.
2. Zen'kov I.V. Rezul'taty issledovaniia poverkhnostei vneshnikh otvalov, rekul'tivirovannykh ugol'nym razrezom «Borodinskii» dlia sel'skokhoziaistvennogo ispol'zovaniia [Research results of external dump surfaces reclaimed for agricultural use by the “Borodinskiy” coal mine]. *Ugol' – [Coal]*, 2010, no. 2, pp. 69–73.
3. Terekhov A.G., Vitkovskaia I.S., Batyrbaeva M.Zh., Spivak L.F. Printsipy agrolandshaftnogo raionirovaniia pakhotnykh zemel' Severnogo Kazakhstana po dannym LANDSAT i MODIS [Principles of agrolandscape zoning of arable land of the Northern Kazakhstan with using of LANDSAT and MODIS]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa – Current problems in remote sensing of the earth from space*, 2010, vol. 7, no. 3, pp. 292–304.
4. Shatrova K.V., Maglinets Iu.A. Metodika avtomatizatsii protsessa detektirovaniia zaleznykh zemel'

[Methods of fallow lands detection automation]. *Sbornik tezisov 10-oi otkrytoi Vserossiiskoi konferentsii “Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa”* [Collection of abstracts of the 10th All-Russian open conference “Actual Problems of Earth Remote Sensing from space”]. Moscow, 2014, 436 p.

5. Shatrova, K.V., Maglinets Iu.A. Sistema podderzhki priniatiia reshenii po otsenivaniiu sel'skokhoziaistvennykh ugodii [Decision support system for arable land evaluation]. *Sbornik tezisov 12-oi otkrytoi Vserossiiskoi konferentsii “Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa”* [Collection of abstracts of the 12th All-Russian open conference “Actual Problems of Earth Remote Sensing from space”]. Moscow, 2012, 394 p.

6. Shatrova K.V., Maglinets Iu.A., Tsibul'skil G.M. Model' predstavleniia informatsii o sostoianii i dinamike zemel' sel'skokhoziaistvennogo naznacheniiia [The model of submission of information on the state and dynamics of lands of agricultural purpose]. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta, Seriya: Tekhnika i tekhnologii – Journal of Siberian Federal University. Engineering and technologies*, 2014, vol. 7. no. 8, pp. 984–989.