

## Подход к разработке интегрального индекса экологического благополучия территории

© 2022. А. В. Минкина<sup>1</sup>, аспирант,

С. А. Двинских<sup>1</sup>, д. г. н., профессор, Т. В. Зуева<sup>2</sup>, к. м. н., доцент,

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,

<sup>2</sup>Пермский государственный университет имени Академика Е. А. Вагнера,  
614000, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26,  
e-mail: anutik.08@inbox.ru, dvins@mail.ru, zueva48@mail.ru

Ухудшение экологического состояния всех природных компонентов на территории Пермского края связано с интенсивным техногенным воздействием на окружающую среду и ростом заболеваемости населения. В настоящее время в практике природопользования отсутствует единый, общепринятый метод интегральной оценки, как экологического состояния (ЭС) территорий, так и социальных условий жизни населения. Большая часть существующих показателей (индексов) рассматривает лишь отдельные составляющие общего ЭС и обычно опирается на данные мониторинга. Мы считаем, что для большого региона (например, для Пермского края) за основу оценки ЭС территории целесообразно принимать техногенное воздействие с обязательным учётом последствий этого воздействия на здоровье населения. Для оценки ЭС территории предлагается использовать интегральный индекс экологического благополучия территории (ИЭБ). Представлены этапы разработки ИЭБ, предложена методика оценки ЭС территории, оценки социальных условий жизни и заболеваемости населения. Впервые в качестве оценочного критерия использована условная норма – величина 50% обеспеченности выбранных расчётных показателей. Приведены основные результаты использования методики на примере административно-территориальных единиц Пермского края.

**Ключевые слова:** Пермский край, экологическое состояние, индекс экологического благополучия, социальные условия, заболеваемость населения, оценка состояния территории.

## An approach to the development of an integral index of ecological well-being of the territory

© 2022. A. V. Minkina<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4762-3761<sup>1</sup>

S. A. Dvinskikh<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8443-8100<sup>1</sup>, T. V. Zueva<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-2865-0748<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm State University,

15, Bukireva St., Perm, Russia, 614068,

<sup>2</sup>E. A. Vagner Perm State Medical University,

26, Petropavlovskaya St., Perm, Russia, 614000,

e-mail: anutik.08@inbox.ru, dvins@mail.ru, zueva48@mail.ru

The deterioration of the ecological state of all natural components in the territory of the Perm Krai is associated with an intense technogenic impact on the environment and an increase in the incidence of the population. Currently, in the practice of nature management there is no single, generally accepted method of integral assessment of both the ecological state of territories and the social conditions of life of the population. Most of the existing indicators (indices) consider only individual components of the general ecological state and are usually based on monitoring data. We believe that for a large region (for example, for the Perm Krai), it is advisable to take the technogenic impact as the basis for assessing the ecological state of the territory, with the obligatory consideration of the consequences of this impact on public health. To assess the ecological state of the territory, it is proposed to use the integral index of the ecological well-being of the territory. The stages of development of the integrated index of the ecological well-being of the territory are presented, the methodology for assessing the ecological state of the territory, assessing the social conditions of life and the incidence of the population is proposed. For the first time, a conditional norm was used as an evaluation criterion – the value of 50% probability of exceeding the selected calculated indicators. The main results of using the methodology are given on the example of the administrative-territorial units of the Perm Krai are presented.

**Keywords:** Perm Krai, ecological state, index of ecological well-being, social conditions, morbidity of the population, assessment of the state of the territory.

Экологические проблемы Пермского края связаны с разнообразными техногенными воздействиями на окружающую среду (ОС). Развитие нефтеперерабатывающей, химической, металлургической, машиностроительной, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей промышленности и агропромышленного комплекса обусловило химическое загрязнение природных компонентов, деградацию лесных массивов, активизацию экзогенных процессов и накопление промышленных и бытовых отходов. В ряде районов края сформировались техногенные аномалии. При этом административные территории отличаются друг от друга видами и интенсивностью проявления экологических проблем, которые наравне с социальными условиями оказывают влияние на здоровье населения. Вследствие этого возникает необходимость получения объективной оценки экологического состояния (ЭС) и выявление первоочередных природоохранных проблем не только в целом по краю, но и по отдельным его территориям.

В настоящее время в России и за рубежом существуют различные критерии (показатели, индексы, коэффициенты и пр.) и методы, используемые для оценки ЭС территорий. Учёными Йельского университета предложен всемирно известный «индекс экологической эффективности» (EPI – Environmental Performance Index) [1]. Получил известность и такой показатель, как «экологический след» (The Ecological Foot-print) [2, 3], возникла даже Глобальная сеть экологического следа, которая ежегодно рассчитывает показатель, оценивающий степень воздействия человека на ОС. Предложен «индекс устойчивого развития окружающей среды» (Environmental sustainability index) [4]. Учёными Колумбийского университета разработан «индекс удовлетворительного состояния ОС» (Ecosystem Wellbeing index), учитывающий 51 показатель, отражающий состояние почв, качество и доступность водных ресурсов, чистоту воздуха и другие критерии. Предложены оценка ЭС территории Республики Беларусь, основывающаяся на учёте источников загрязнения и концентрациях загрязняющих веществ [5], и интегральный индекс устойчивого развития регионов республики [6]. В России создана многофункциональная экологическая карта Москвы (Компания Eco Standard group), основанная на данных экологического мониторинга [7, 8]. Применительно к региональным единицам республики Марий Эл предложен «интегральный инди-

катор качества окружающей среды и степени экологической устойчивости региона» [9]. В Татарстане разработан «интегральный показатель качества среды обитания территории» (KSOT) [10]. Для малых и средних городов севера Московской области приведена методика оценки ЭС компонентов ОС [11]. Перечисленные показатели – это далеко не полный перечень существующих способов оценки ЭС территории.

Однако единый общепринятый метод интегральной оценки ЭС территорий в настоящее время отсутствует, а существующие методы не уделяют должного внимания социальной составляющей в оценке качества ОС.

Цель работы – разработка интегрального индекса экологического благополучия (ИЭБ) территории и методологического подхода к его расчёту (на примере Пермского края).

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является комплекс статистических данных, включающий сведения по техногенным воздействиям и заболеваемости населения в административно-территориальных единицах (АТЕ) Пермского края за период с 2000 по 2018 гг. В ходе исследований были использованы статистические методы (в том числе ранговой корреляции Спирмена), метод водохозяйственного баланса, метод линейной интерполяции, медико-статистический анализ, метод картографирования, а также программа для расчёта статистических характеристик StokStat 1.2 и ГИС-технологии (ArcGis и AutoCad). Поиск и отбор информации осуществляли в библиографических базах данных научного цитирования Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics), eLIBRARY.RU. Поиск информации проводили в поисковых системах Yandex и Google по поисковым запросам: «загрязнение окружающей среды», «экологическое состояние», «заболеваемость», «экология регионов», «экологический индекс».

### Результаты и обсуждение

Экологическое состояние любой территории представляет синтез состояний природных компонентов (атмосферы, воды, почвы и растительности), каждый из которых находится под воздействием природных и техногенных факторов. Результат их взаимодействия может быть охарактеризован индексом экологического благополучия – ИЭБ [12, 13].

Под экологическим благополучием мы понимаем такое состояние территории, при котором удовлетворяются все физиологические, экономические и медико-социальные потребности населения, обеспечивается здоровье населения, при этом отсутствует или минимизировано негативное воздействие на природную среду. Индекс экологического благополучия – сложный показатель. Он состоит из частных индексов, характеризующих интенсивность воздействий на отдельные природные компоненты, которые, в свою очередь, определяются через относительные коэффициенты –  $K$ , показывающие воздействие какого-либо фактора на один компонент природной среды.

Расчёт ИЭБ включает несколько этапов и подробно изложен в [12]. Первый этап – выбор расчётных показателей: норма стока и объёмы сбросов сточных вод; объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и передвижных источников; объёмы образования отходов, содержание гумуса в почвах, доля кислых почв, площади водной и ветровой эрозии и густота оврагов, лесистость территории.

Второй этап – определение условной нормы воздействия. В качестве такого критерия предлагаем использовать «условную норму», соответствующую 50% обеспеченности показателя техногенного воздействия по краю [14].

Третий этап – расчёт относительных коэффициентов для выбранных расчётных показателей. Относительный коэффициент определяли по формуле (1), если с его увеличением растёт положительная роль в формировании природного компонента (например, водообеспеченность):

$$K_i = \frac{K_n}{K_\phi} \quad (1)$$

В противном случае (например, выбросы в атмосферу) расчёт вели по формуле (2):

$$K_i = \frac{K_\phi}{K_n} \quad (2)$$

где  $K_\phi$  – фактическое значение анализируемого показателя в  $i$ -й АТЕ;  $K_n$  – его условная норма (критерий), соответствующая его 50% обеспеченности по региону.

Четвёртый этап – расчёт частных индексов природных сред для изучаемой территории, проводится по формуле (3):

$$I_{zi} = (K_1 + K_2 + \dots K_n) / m, \quad (3)$$

где  $I_{zi}$  – частный индекс природной среды;  $z$  – природный компонент;  $i$  – АТЕ;  $K_1, K_2, K_n$  – относительные коэффициенты,  $m$  – количество слагаемых.

Пятый этап – расчёт интегрального ИЭБ. Индекс экологического благополучия определялся как среднее геометрическое между частными индексами природных компонентов:

$$I_i = \sqrt[4]{I_{\text{вод.}} \cdot I_{\text{возд.}} \cdot I_{\text{почв.}} \cdot I_{\text{лес.}}} \quad (4)$$

где  $I$  – ИЭБ в  $i$ -том АТЕ;  $I_{\text{вод.}}, I_{\text{возд.}}, I_{\text{почв.}}, I_{\text{лес.}}$  – частные индексы природных компонентов.

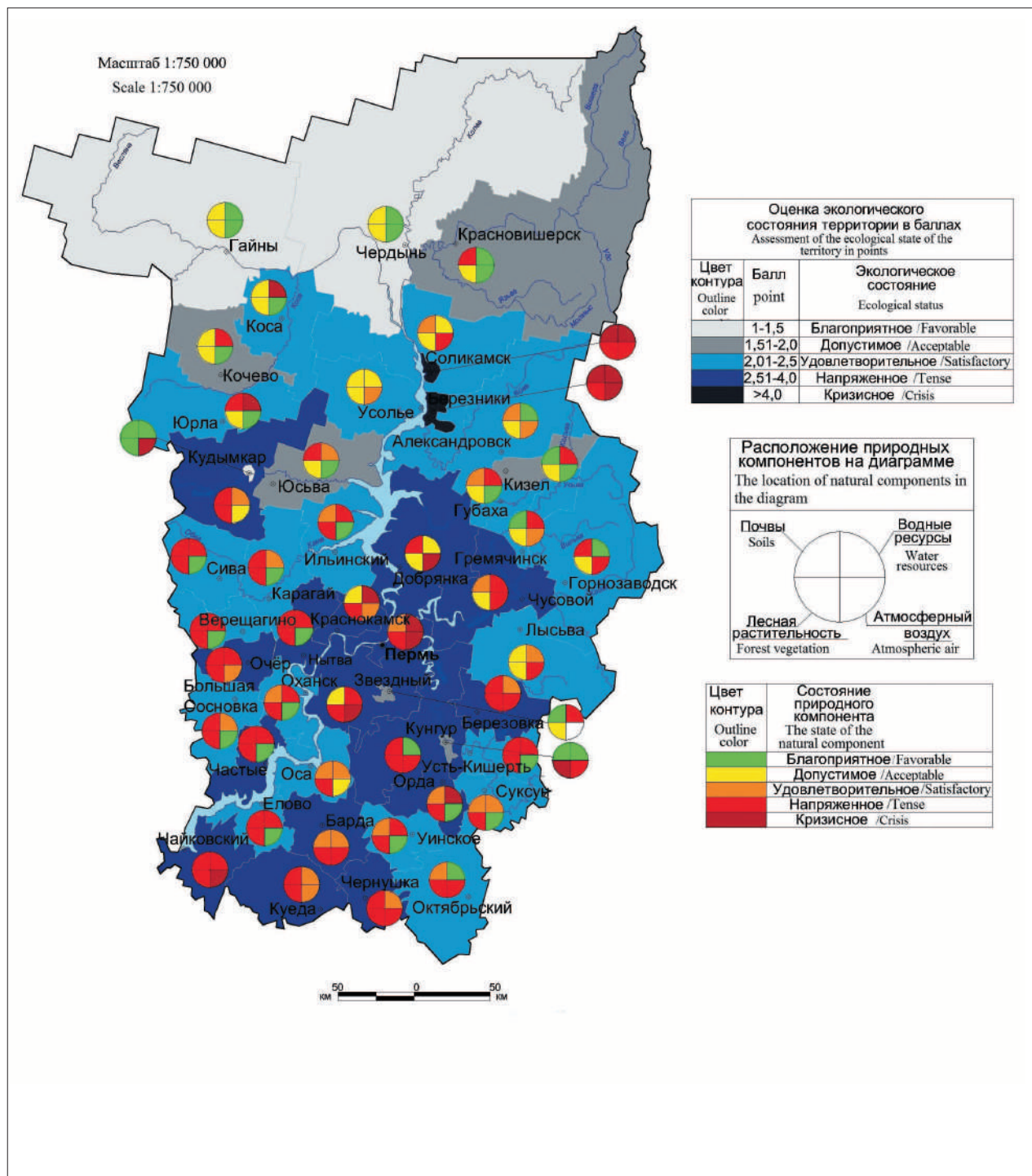
Последний этап – оценка экологического состояния АТЕ по ИЭБ – проводится в соответствии с разработанными нами качественными и количественными критериями по пятибалльной шкале: благоприятное состояние (1,0–1,5 балла), допустимое (1,51–2,0 балла), удовлетворительное (условная норма) (2,01–2,5 балла), напряжённое (2,51–4,0 балла), кризисное (более 4,01 баллов).

Эти критерии были положены в основу построения карты «Оценка экологического состояния Пермского края» (рис. 1, см. цв. вкладку VII).

Оценку социальных условий и заболеваемости населения проводили по частным индексам ( $ЧИ_{\text{соц.}}$  и  $ЧИ_{\text{заб.}}$ ). При исследованиях социальных условий использовали следующие показатели: обеспеченность жилищного фонда и средний уровень заработной платы; обеспеченность врачами и средним медперсоналом, плотность населения. Здоровье населения оценивали по показателям общей заболеваемости и экологически значимой заболеваемости по различным нозологическим формам. Результаты расчётов отражены на картах: «Состояние социальных условий жизни населения» и «Распределение общей заболеваемости населения» (рис. 2, рис. 3, см. цв. вкладку VIII).

Анализ построенных карт (рис. 1–3) показал, что в кризисном состоянии находятся города Березники и Соликамск, причём в г. Березники в кризисном состоянии находится большинство компонентов природной среды (кроме лесной растительности); в г. Соликамск – водные и почвенные ресурсы, состояние остальных компонентов оценивается как напряжённое. Напряжённое ЭС отмечалось как в регионах с высокой степенью техногенной нагрузки, так и в регионах, имеющих невысокие показатели обеспеченности водными ресурсами и лесистости. Это промышленно развитые террито-

**А. В. Минкина, С. А. Двинских, Т. В. Зуева**  
**«Подход к разработке интегрального индекса**  
**экологического благополучия территории». С. 236.**



**Рис. 1.** Оценка экологического состояния Пермского края [15]  
**Fig. 1.** Assessment of the ecological state of the subjects of the Perm Krai [15]



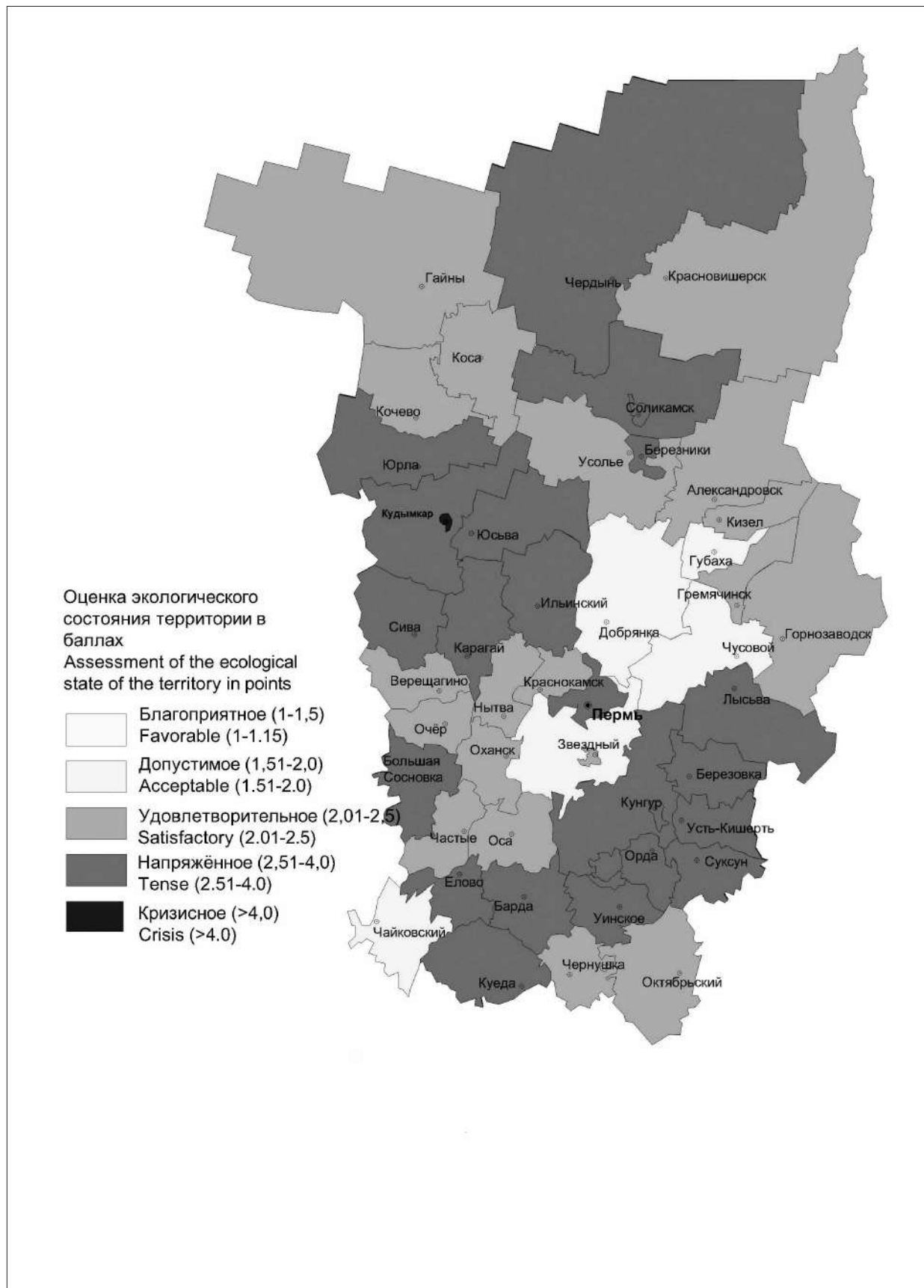
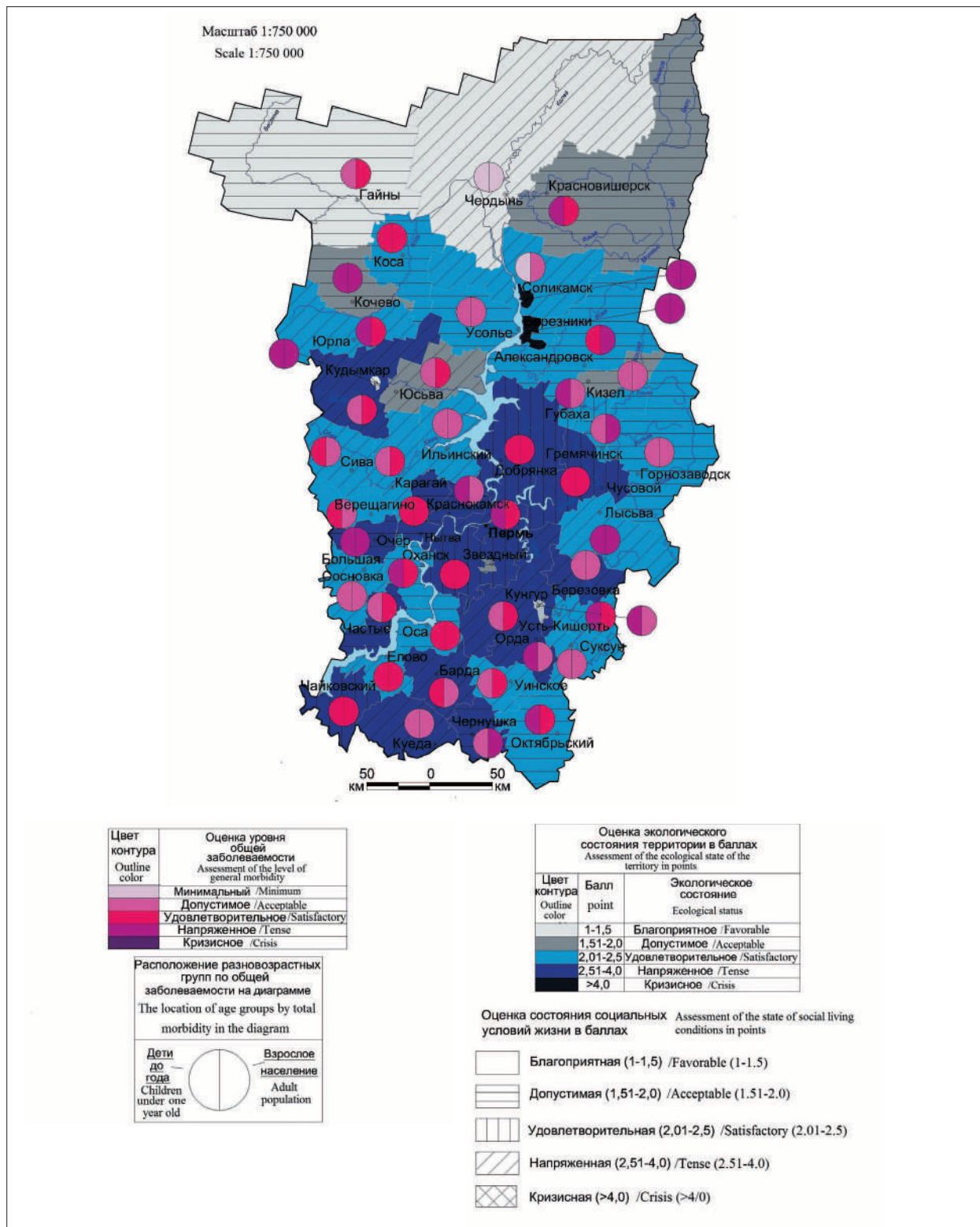


Рис. 2. Состояние социальных условий жизни населения Пермского края  
Fig. 2. The state of the social conditions of the Perm Krai

**А. В. Минкина, С. А. Двинских, Т. В. Зуева**  
**«Подход к разработке интегрального индекса**  
**экологического благополучия территории». С. 236.**



**Рис. 3.** Распределение уровня общей заболеваемости в Пермском крае  
**Fig. 3.** Distribution of the level of general morbidity in the Perm Krai

рии: г. Пермь, районы Чусовской, Пермский, Добрянский, Краснокамский, Чернушинский и др. (рис. 2).

Обеспечение социальными условиями на уровне «кризисное» и «напряжённое» сложилось в 21 АТЕ (Кудымкар, Пермь, Соликамск, Юрлинский, Сивинский, Юсвинский, Куединский, Бардымский и другие районы) (рис. 3). Оно объясняется нехваткой медицинских кадров (менее 8 врачей и 64 единиц среднего медицинского персонала), недостаточной обеспеченностью жильём (менее 134,6 тыс. м<sup>2</sup>) и низким значением среднего уровня заработной платы (менее 10933,7 руб.).

Напряжённое состояние по общей заболеваемости взрослого населения отмечается в 19,2% АТЕ края, допустимое и благоприятное – в 80,2%; детского населения (0–14 лет) – соответственно в 29,8 и 58,4% АТЕ. В группе детского населения в возрасте от 0 до 1 года, являющегося наиболее чувствительным из группы риска, напряжённое состояние по общей заболеваемости отмечается в 34,0%, удовлетворительное – в 25,5%, допустимое и благоприятное – в 40,5% АТЕ. Учитывая, что уровень общей заболеваемости детского населения превышает уровень заболеваемости взрослого в 1,6 раза, а детей до 1 года – в 2,5 раза, проведён анализ заболеваемости детей до 1 года наиболее распространёнными нозологическими формами болезней (болезни крови и кроветворных органов, включая ане-

мии, болезни органов дыхания и врождённые аномалии). Установлено, что по болезням крови и кроветворных органов, в том числе анемиям, а также по болезням органов дыхания напряжённое состояние складывается в 38% АТЕ; по классу болезней «врождённые аномалии, деформации и хромосомные нарушения» – напряжённое и кризисное состояние отмечается в 19,1% территорий.

Корреляционный анализ показал, что имеется высокая связь между ИЭБ и показателями общей заболеваемости у взрослого и детского населения в возрасте от 0 до 14 лет ( $r_s = 0,72-0,79, p = 0,95$ ) и заметная ( $r_s = 0,63-0,67, p = 0,95$ ) – у детей первого года жизни, включая показатели заболеваемости такими экологически значимыми болезнями, как болезни крови и кроветворных органов, в том числе анемии, болезни органов дыхания и врождённые аномалии. Роль социальных условий в формировании общей заболеваемости высокая и у взрослого населения, и у детей ( $r_s = 0,88-0,89, p = 0,95$ ). На заболеваемость разных групп населения (кроме детей первого года жизни) в равной степени влияют экологические и социальные условия, а у детей первого года жизни большую роль играют социальные условия ( $r_s = 0,86-0,89, p = 0,95$ ) (табл.).

Таким образом, в Пермском крае в формировании здоровья взрослого и детского населения практически в равной степени

**Таблица / Table**  
Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ) между социальными условиями, ИЭБ и показателями заболеваемости населения  
Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) between social conditions, EBI and population morbidity rates

| Показатели общей заболеваемости<br>Indicators of general morbidity                      | Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ )<br>Spearman's rank correlation coefficients ( $r_s$ ) |   |
|---|---|---|
|   | ИЭБ<br>EWI  | социальные условия<br>social conditions |
| Общая заболеваемость взрослого населения<br>General morbidity of the adult population   | 0,76±0,10   | 0,88±0,07                               |
| Общая заболеваемость детей (0–14 лет)<br>General morbidity of children (0–14 years old) | 0,72±0,10   | 0,80±0,07                               |
| Общая заболеваемость подростков<br>General morbidity of adolescents                     | 0,79±0,09   | 0,89±0,07                               |
| Общая заболеваемость детей до года<br>General morbidity of children to 1 year           | 0,64±0,11   | 0,89±0,07                               |
| по некоторым нозологическим формам болезней: / nosological forms of diseases:           |   |   |
| болезни крови и кроветворных органов<br>diseases of the blood and hematopoietic organs  | 0,66±0,11   | 0,89±0,07                               |
| анемии / anemia   | 0,66±0,11   | 0,87±0,08                               |
| болезни органов дыхания / respiratory diseases  | 0,67±0,11   | 0,89±0,07                               |
| врождённые аномалии / congenital anomalies  | 0,63±0,11   | 0,86±0,08                               |

участвуют как экологические факторы, так и социальные условия.

### Заключение

Результаты проведённых исследований подтверждают, что здоровье населения зависит от существующего ЭС территории и социальных условий его жизни, которые сложились на территории проживания.

Предложен индекс экологического благополучия (ИЭБ) и методика его расчёта, основанная на данных официальной статистики, с использованием условной нормы, соответствующей 50% обеспеченности показателя техногенного воздействия по краю.

На основе расчётов и районирования территории выделены ареалы по социально значимым и приоритетным природоохранным проблемам. Установлено, что напряжённое и кризисное ЭС сложилось соответственно в 31 и 6% административных территорий, а по социальным условиям – в 47 и 2% соответственно.

В формировании здоровья населения практически в равной степени принимают участие как социальные условия, так и ЭС территории проживания. Выявленные проблемы и связи, установленные между ними и показателями заболеваемости, позволят объективно наметить природоохранные и социально значимые мероприятия, направленные на улучшение здоровья населения в административно-территориальных единицах, и могут быть использованы при разработке экологической политики Пермского края.

### References

1. Environmental Performance Index –About the EPI [Internet resource] <https://epi.yale.edu/> (Accessed: 05.11.2018).
2. Global Footprint Network – Ecological Footprint [Internet resource] <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> (Accessed: 18.01.2021).
3. Sustainable Business Magazine – Ecological footprint – a vivid imprint of human morality [Internet resource] <https://csrjournal.com/> (Accessed: 18.01.2021) (in Russian).
4. Sustainability Now – Ecosystem Wellbeing Index (EWI) [Internet resource] <http://sustainabilitynow.com/> (Accessed: 09.11.2018).

5. Brilevskij M.N., Vitchenko A.N., Morozov E.V. Assessment of the ecological state of the territory of Belarus // Actual problems of geocology and landscape science. 2015. No. 2. P. 17–20 (in Russian).

6. Vojtekhovskaya E.V. The index of sustainable development of regions as a tool for assessing the results of a sustainable development strategy // Actual problems and prospects for the development of state statistics in modern conditions. Saratov: Saratovskiy sotsialno-ekonomicheskii institut, 2016. P. 20–25 (in Russian).

7. Group of Companies “ECOLOGY” – Environmental and medical assessment of Moscow [Internet resource] <http://ecology.ru/> (Accessed: 11.11.2018) (in Russian).

8. Independent Evaluation Department – Ecological map of Moscow. Assessment of the apartment taking into account the pollution of the city area [Internet resource] <https://www.ocenka-i.ru/ecologiya.html/> (Accessed: 11.11.2018) (in Russian).

9. Bakumenko L.P., Korotkov P.A. Integral assessment of the quality and degree of environmental sustainability of the region’s environment (on the example of the Republic of Mari El) // Prikladnaya ekonometrika. 2008. No. 1 (9). P. 73–92 (in Russian).

10. Sadov A.V., Napolov O.B. Role and meaning of natural resources at working out ecologically balanced development of the region // Theoretical and Applied Ecology. 2011. No. 2. P. 21–27 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2011-2-021-027

11. Kaplina S.P., Kamanina I.Z. Comprehensive assessment of the ecological state of Dubna, Moscow region // Ekologiya urbanizirovannyh territoriy. 2017. No. 2. P. 30–35 (in Russian).

12. Minkina A.V. Development of the index of ecological well-being of the territory on the example of the Perm Region // Development of geographical research in Belarus in the XX–XXI centuries. Minsk: Belarusian State University, 2021. P. 182–188 (in Russian).

13. Isaeva A.Yu., Khripkov Yu.I., Poklonsky D.L., Zygin D.A., Semenov E.A., Lagutkina E.E. Joint impact of ecologically dangerous factors // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 4. P. 25–31 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-025-031

14. Minkina A.V. Spatial characteristics of the ecological state of water resources of the administrative districts of Perm Krai // Modern problems of reservoirs and their watersheds. Perm: Perm State University, 2021. P. 469–474 (in Russian).

15. Minkina A.V., Dvinskih S.A., Zueva T.V. The use of the geosystem ecological well-being index in the development of regional environmental policy // Geographical space: balanced development of nature and society. Chelyabinsk: Kray Ra, 2021. P. 189–196 (in Russian).