

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СУММАРНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ЗОНЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА

Белюсова А. П., Руденко Е. Э., Миняева Ю. В.

METHODOLOGY FOR ASSESSMENT OF THE TOTAL TECHNOGENIC LOAD ON THE ENVIRONMENT IN THE AREA OF CHERNOBYL TRACE

Belousova A. P., Rudenko E. E., Minyaeva Yu. V.

Аннотация

Введение: степень опасности загрязнения окружающей среды определяется интенсивностью суммарной техногенной нагрузки на отдельные её компоненты. Задачей исследований являлась оценка суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду в зоне Чернобыльского следа на примере промышленных районов Тульской области с хорошо развитой промышленностью, сельским хозяйством, горнодобывающей промышленностью и другими видами хозяйственной деятельности. **Методы:** для решения поставленной задачи были использованы разработанные методы оценки опасности загрязнения окружающей среды и подземных вод точечными источниками загрязнения (промышленные предприятия, отдельные шахты, электростанции и др. источники), диффузными и точечно-площадными; разработана результирующая методика оценки суммарного рейтинга условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения. **Результаты:** с учетом разработанного и оцененного рейтинга была проанализирована техногенная нагрузка для ряда городов и населенных пунктов Тульской области. Оценена опасность загрязнения окружающей среды и подземных вод площадными-диффузными и точечно-площадными источниками загрязнения (сельскохозяйственное загрязнение, радиоактивное загрязнение и загрязнение от деятельности угольной промышленности). **Заключение:** сравнивая результаты исследований во время и спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС, можно отметить, что произошло значительное улучшение экологического состояния окружающей среды, хотя имеются районы с достаточно напряженной ситуацией, а на территории развития горнодобывающей промышленности сохраняется высокая опасность загрязнения окружающей среды. Несмотря на то что практически все шахты уже закрыты, их влияние на среду остается достаточно высоким.

Ключевые слова: окружающая среда, источники загрязнения, техногенная нагрузка, опасность загрязнения, рейтинг опасности загрязнения.

Abstract

Introduction: The risk of environment pollution is determined by intensity of the total technogenic load on its individual components. The purpose of the study was to assess the total technogenic load on the environment in the zone of Chernobyl trace through the example of industrial areas of the Tula Region characterized by well-developed manufacturing, agriculture, mining and other economic activities. **Methods:** To achieve the purpose, methods to assess the risk of environment and groundwater pollution by point sources (industrial enterprises, individual mines, power plants, etc.), diffuse and point/area sources were used; a resultant methodology for assessing the overall rating of conditional risk of environment pollution from various sources was developed. **Results:** With account for the developed and assessed rating, the technogenic load in some cities and other populated areas of the Tula Region was analyzed. The risk of environment and groundwater by area-diffuse and point-area sources of pollution (agricultural pollution, coal industry pollution and radioactive contamination) was assessed. **Conclusion:** Comparing the results of studies at the time of the Chernobyl accident and 30 years after, it can be noted that the environment state has improved significantly, although some areas are still characterized by a challenging environmental situation, and in the territory of mining industry development, a high risk of environment pollution remains. Despite the fact that almost all mines are already closed, their impact on the environment is still quite significant.

Keywords: environment, pollution sources, technogenic load, pollution risk, pollution risk rating.

Введение

Опасность загрязнения окружающей среды (ОС) зависит от общей (суммарной) техногенной нагрузки на все её составляющие. Рассмотрим подземную гидросферу Тульской области в качестве примера для оценки суммарной техногенной нагрузки на территории промышленных районов.

Тульская область характеризуется хорошей развитостью промышленности, сельского хозяйства, горнодобывающей промышленности и других видов хозяйственной деятельности, а в связи с этим вносит свой вклад в загрязнение ОС. По официальным данным [14] на одного жителя Тульской области приходится в среднем 221 кг/чел. выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и 149 м³/чел. сточных вод. Суммарный выброс (от транспорта и стационарных источников) в атмосферу составляет 6 % от общего

объёма поступающих в атмосферу загрязнителей в ЦФО.

Кроме этого, большая часть территории Тульской области оказалась в зоне влияния аварии на Чернобыльской атомной станции (ЧАЭС).

На территории Тульской области выделены следующие типы источников загрязнения:

- точечные (промышленные предприятия, отдельные шахты, электростанции и другие источники) (рис. 1);
- линейные (автомобильные и железные дороги, нефтепроводы, газопроводы, реки);
- площадные (сельскохозяйственные земли и территории, загрязненные чернобыльскими радионуклидами) (рис. 2);
- точечно-площадные — дополнительный тип, выделение которого обусловлено большим количеством шахт, угольных карьеров, объединенная площадь которых составляет порядка 15 % от площади изучаемой территории.

Карта техногенной нагрузки от точечных источников промышленных районов Тульской области

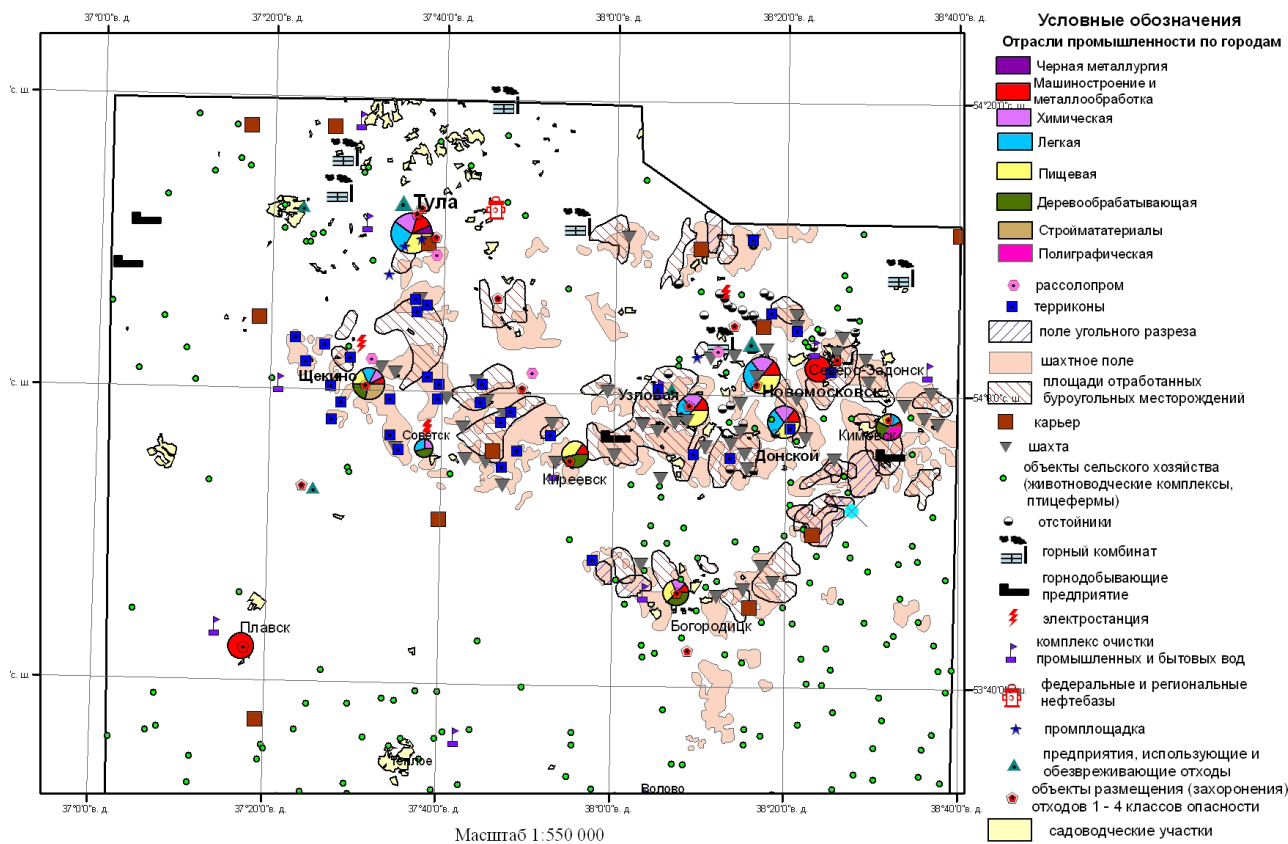


Рис. 1. Карта техногенной нагрузки от точечных источников загрязнения промышленных районов Тульской области [5–7, 10–12, 15]

Карта техногенной нагрузки от площадных источников промышленных районов Тульской области

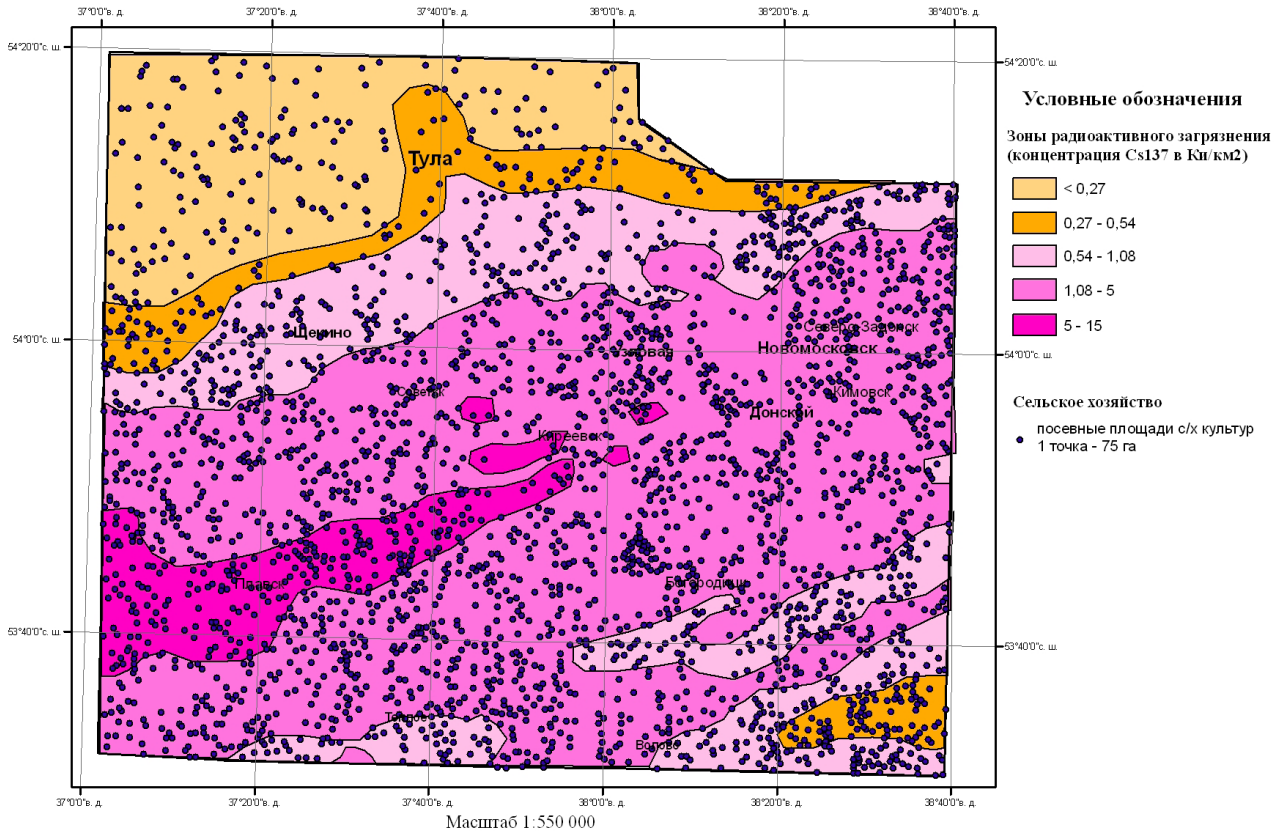


Рис. 2. Карта техногенной нагрузки от площадных источников загрязнения промышленных районов Тульской области (карта составлена на основе фондовых и электронных ресурсов [5–7, 10–12, 15])

Методы и материалы

Влияние точечных источников загрязнения на величину опасности загрязнения ОС

Для определения роли каждой отрасли хозяйственной деятельности следует использовать рейтинговую систему оценки, которая состоит из двух показателей:

1. Общий объем поступления загрязнителей в ОС (газообразных, жидких и твердых), который образуется в ходе от деятельности каждого источника загрязнения.

2. Характеристика отдельных компонентов, куда входит качественный (компонентный) и количественный состав (объем образования каждого компонента).

К сожалению, применение оценки, включающей пункт 2, затруднено из-за отсутствия фактической (официальной) информации по каждому конкретному источнику загрязнения внутри каждой отрасли хозяйственной деятельности.

В связи с этим ограничением при анализе использовался только первый пункт, учитывающий влияние хозяйственной деятельности различных отраслей промышленности на ОС. В более ранних работах [1–4] была описана методика применения данного подхода по анализу техногенной нагрузки.

Подход подразумевает определение рейтинга, основанного на суммарном образовании загрязняющих веществ для каждой геосферы по отраслям производственной и хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации.

Установлен средний условный рейтинг опасности воздействия хозяйственной деятельности на ОС по данным [13], который определялся как $(O_{г} + O_{ж} + O_{т})/3$, где $O_{г}$ – газообразные отходы, $O_{ж}$ – жидкие отходы, $O_{т}$ – твердые отходы. На основе расчетов [3] определена степень опасности отрасли: *** (рейтинг менее 5) — чрезвычайно опасная; ** (рейтинг от 5 до 10) — очень

опасная; * (более 10) — опасная. Цветная металлургия — 4, чёрная металлургия — 4,3, электроэнергетика — 4,3, жилищно-коммунальное хозяйство — 4,7, угольная промышленность — 5,3, химическая и нефтехимическая промышленность — 6, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность — 7,7, производство строительных материалов — 8,7, сельское хозяйство — 9, нефтедобывающая промышленность — 9,7, машиностроение и металлообработка — 9,7, нефтеперерабатывающая промышленность — 10, пищевая промышленность — 10,7, газовая промышленность — 12, легкая промышленность — 14.

Результаты исследования и обсуждение

С учетом вышеприведенного рейтинга опасности точечных источников загрязнения окружающей среды была проанализирована техногенная нагрузка для ряда городов и населенных пунктов Тульской области, которая приведена в таблице 1. В этой таблице к точечным источникам — отраслям промышленности в различных городах — добавлено и радиоактивное загрязнение этих тер-

риторий путем наращивания весового значения рейтинга опасности на единицу веса для каждой градации поверхностных выпадений ¹³⁷Cs.

Для каждого населенного пункта был рассчитан суммарный рейтинг условной опасности с учетом точечных источников загрязнения, а также от точечных источников загрязнения вместе с радиоактивным загрязнением (радиоактивное загрязнение сразу после аварии на ЧАЭС). Таким образом, установлены следующие рейтинги условной опасности: 20–30 — слабая (сл); 30–40 — средняя (ср); 40–50 — высокая (в); 50–60 — очень высокая (ов); ≥ 60 — чрезвычайно высокая (чв).

Оценка опасности загрязнения окружающей среды и подземных вод площадными-диффузными, точечно-площадными источниками загрязнения

К площадным источникам загрязнения отнесены: сельскохозяйственное загрязнение, радиоактивное загрязнение и загрязнение от деятельности угольной промышленности.

Таблица 1

Условный рейтинг опасности влияния отраслей хозяйственной деятельности на территории Тульской области

№	Отрасль промышленности	Средний рейтинг	Тула	Новомосковск, Донской	Узловая	Щёкино	Северо-Задонск	Кимовск	Киреевск	Богородицк	Плавск	Советск
1	Черная металлургия	12	12									
2	Электроэнергетика	12		10		12						12
3	ЖКХ	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
4	Угольная промышленность	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	Химическая	9	9	9	9	9				9		9
6	Лесная, целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая	8				8		8	8	8		8
7	Строительных материалов	7				7						
8	Сельское хозяйство	6										
9	Машиностроение и металлообработка	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10	Пищевая	3	3	3	3	3		3	3	3		
11	Легкая	1	1	1	1	1		1				1
	∑ рейтингов точечных источников	84	51(ов)	49(в)	39(ср)	66(чв)	26(сл)	38(ср)	37(ср)	46(в)	26(сл)	51(ов)
	Рейтинг радиоактивного загрязнения		14	15	15	14-15	15	15	16	15	16-17	15
	∑ рейтингов точечных и радиоактивных источников		65(чв)	64(чв)	54(ов)	81(чв)	41(в)	53(ов)	53(ов)	61(чв)	43(в)	66(чв)

Примечание: рейтинг условной опасности: 20–30 — слабая (сл); 30–40 — средняя (ср); 40–50 — высокая (в); 50–60 — очень высокая (ов); ≥ 60 — чрезвычайно высокая (чв).

Третий тип точечно-площадного источника загрязнения связан с деятельностью угледобывающей промышленности, влияние которой описано в [8–9]. Выделение данного типа обусловлено тем, что количество добывающих предприятий (шахт, угольных разрезов, терриконов и др.) на изучаемой территории настолько велико, что они объединяются и составляют порядка 15 % всей площади. В связи с этим они и отнесены к точечно-площадному типу источников загрязнения — их влияние распространяется на значительные территории (рис. 3). При оценке рейтинга опасности этого источника загрязнения весовое значение его рейтинга опасности было взято из таблицы 1 и принято равным 10.

Практически на всей изучаемой территории широко распространена сельскохозяйственная деятельность, представленная растениеводством, животноводством, птицеводством и др. (рис. 2). Весовое значение рейтинга опасности этой отрасли хозяйства было взято из табл. 1 и принято равным 6.

Вся данная территория Тульской области попала в зону негативного воздействия последствий аварии на ЧАЭС.

Поскольку Брянская область — одна из наиболее пострадавших территорий России от аварии на ЧАЭС [1], то с учетом плотности выпадений радионуклидов на ее территории были установлены и соответствующие градации степени загрязнения для Тульской области (рис. 2). По показателю плотности выпадения радионуклидов ^{137}Cs определяется значение степени опасности загрязнения подземных вод радионуклидами. По данным МАГАТЭ за ПДК принята плотность выпадений, равная 1 Ки/км². В зависимости от плотности выпадения изотопа ^{137}Cs на почвенную поверхность предлагается использовать следующую градацию опасности загрязнения подземных вод: значения менее 1 Ки/км² представляют слабую опасность; величина, входящая в интервал значений от 1 до 5 Ки/км² — средняя опасность; от 5 до 15 — высокая опасность; от 15 до 40 Ки/км² — очень высокая опасность; территории, на которых плотность выпадения радионуклида составила более 40 Ки/км², представляют чрезвычайную опасность для подземных вод.

Таким образом, был установлен суммарный рейтинг условной опасности от площадных и точечно-площадных источников загрязнения —

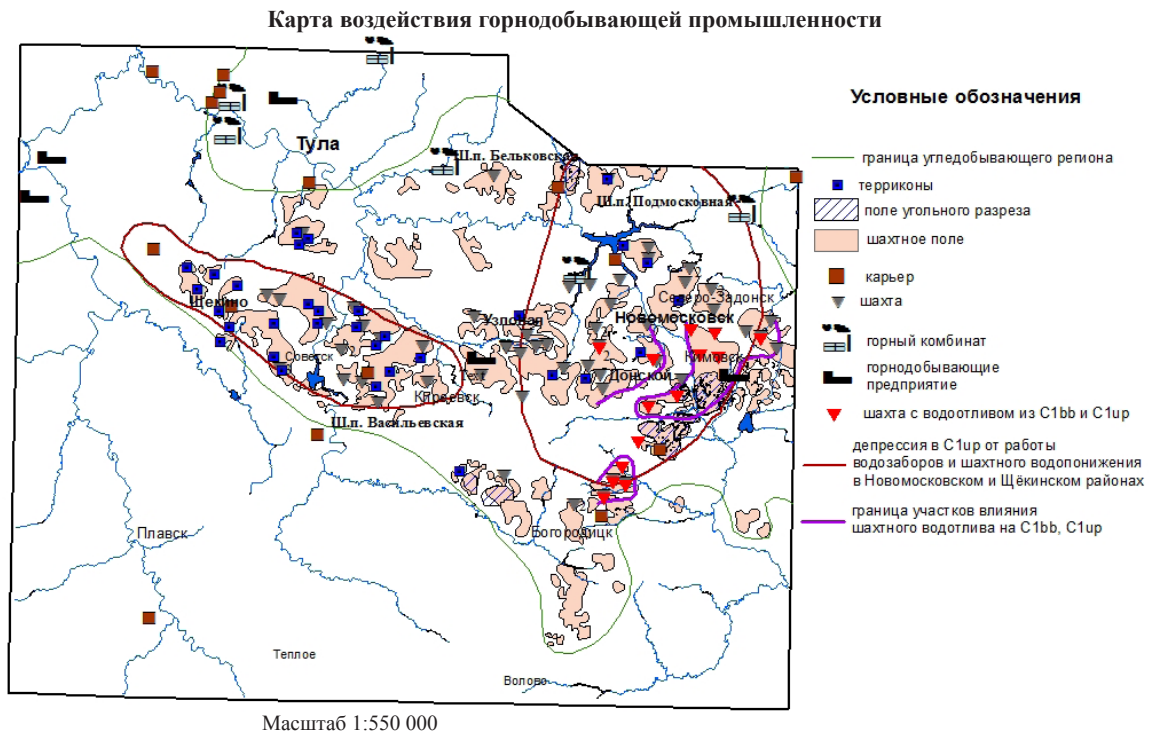


Рис. 3. Карта воздействия горнодобывающей промышленности (карта составления на основе фондовых и электронных ресурсов [5–7, 10–12, 15])

Таблица 2

Суммарный рейтинг условной опасности от площадных и точечно-площадных источников загрязнения (радиоактивное загрязнение после аварии на ЧАЭС)

Рейтинг опасности от точечно-площадных источников	Рейтинг условной опасности от площадных источников загрязнения				
	Сельское хозяйство, рейтинг опасности — (6)				
	Радиоактивное загрязнение: (Ки/км ²), (рейтинг опасности)				
	≤ 1 (5)	1–5 (10)	5–15 (15)	15–40 (20)	≥ 40 (≥25)
Отсутствует угольная промышленность	11 (сл) [1]	16 (сп)[2]	21 (в)[3]	26 (ов)[4]	≥31 (чв)[5]
Угольная промышленность, рейтинг опасности — (10)	21 (в)[6]	26 (ов)[7]	31 (чв)[8]	36 (чв)[9]	≥41 (чв)[10]

Примечание: рейтинг условной опасности: 10–15 — слабая (сл), 15–20 — средняя (сп), 20–25 — высокая (в), 25–30 — очень высокая (ов); ≥30 — чрезвычайно высокая (чв); [1] — номер типового участка.

радиоактивное загрязнение в год аварии на ЧАЭС (см. табл. 2).

На карте суммарного рейтинга условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения после аварии на ЧАЭС (рис. 4) показано:

– рейтинг условной опасности загрязнения окружающей среды от точечных источников загрязнения и радиоактивного загрязнения распределен следующим образом по городам: чрезвычайная опасность — Тула, Новомосковск, Донской, Богородицк, Щекино, Советск; очень

высокая — Кимовск, Киреевск, Узловая; высокая — Северо-Задонск, Плавск (рис. 4);

– рейтинг условной опасности загрязнения окружающей среды от площадных и точечно-площадных источников загрязнения распределен следующим образом: территории с чрезвычайной опасностью загрязнения приурочены к локальным участкам с развитой добывающей промышленностью и очень высоким радиоактивным загрязнением вблизи г. Советска и г. Киреевска; в зоне развития сельского хозяйства и добывающей промышленности на фоне среднего радиоактивного загрязнения существует очень

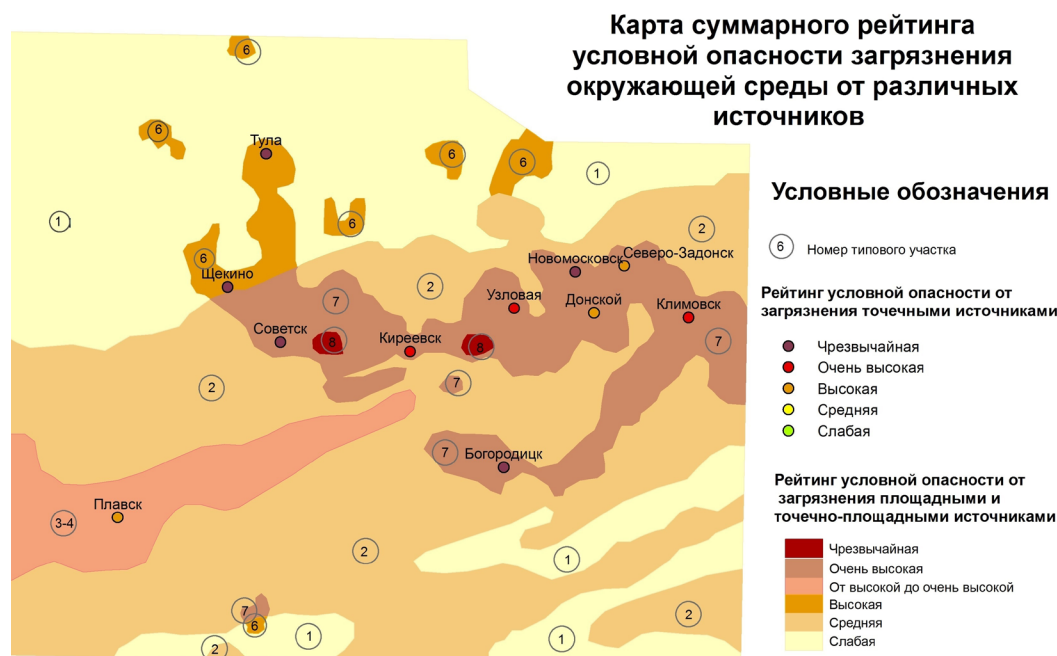


Рис. 4. Схематическая карта суммарного рейтинга условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения (после аварии на ЧАЭС). Масштаб 1: 55 000

высокая опасность загрязнения ОС, а на фоне слабого радиоактивного загрязнения — высокая опасность; в зоне отсутствия добывающей промышленности при развитии сельского хозяйства и высокого радиоактивного загрязнения, достигающего и очень высокого уровня, что характерно для загрязнения в районе г. Плавска, опасность изменяется от высокой до очень высокой; в зоне среднего радиоактивного загрязнения — опасность средняя, в зоне слабого радиоактивного загрязнения — опасность слабая (рис. 4).

В 2016 г. исполнилось 30 лет после аварии на ЧАЭС, что соответствует одному периоду полураспада радионуклида ¹³⁷Cs и в связи с этим произошло уменьшение активности первоначальных выпадений радионуклидов вдвое. Учитывая этот фактор, мы провели переоценку суммарного рейтинга опасности окружающей среды от площадных и точно-площадных источников загрязнения через 30 лет после аварии на ЧАЭС, результаты которого приведены в табл. 4. Кроме этого, следует отметить, что за прошедшее время практически все угольные шахты на изучаемой территории были закрыты и затоплены, но их влияние на окружающую среду по-прежнему остается негативным. Поэтому рейтинг угольной промышленности в данных оценках не был изменен.

Рейтинг условной опасности загрязнения окружающей среды от точечных источников загрязнения распределился следующим образом по городам: чрезвычайная опасность — Щекино; очень высокая опасность — Тула, Советск; высокая — Новомосковск, Донской, Богородицк; средняя: Узловая, Кимовск, Киреевск; слабая — Северо-Задонск, Плавск (рис. 5).

Рейтинг условной опасности загрязнения окружающей среды от площадных и точно-

площадных источников загрязнения распределился следующим образом: территории с очень высокой опасностью загрязнения приурочены к локальным участкам с развитой добывающей промышленностью и высоким радиоактивным загрязнением вблизи с г. Советска и г. Киреевска; в зоне развития сельского хозяйства и добывающей промышленности на фоне высокого радиоактивного загрязнения существует высокая опасность загрязнения ОС, а на фоне слабого радиоактивного загрязнения — средняя опасность; в зоне отсутствия добывающей промышленности при развитии сельского хозяйства и от среднего до высокого радиоактивного загрязнения, что характерно для загрязнения в районе г. Плавска, опасность изменяется от слабой до средней; в зоне слабого радиоактивного загрязнения — опасность средняя, в зоне условного радиоактивного загрязнения — опасность условная (рис. 3).

Заключение

Оценен суммарный рейтинг условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения (промышленность, сельское хозяйство, добывающая промышленность, радиоактивное загрязнение) на два срока: непосредственно после аварии и через 30 лет после аварии на ЧАЭС с построением соответствующих карт.

Сравнивая экологическую ситуацию спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС с ситуацией сразу после аварии, можно сделать вывод, что за этот срок произошло значительное ее улучшение, хотя в радиоактивном следе в районе г. Плавска она по-прежнему достаточно напряженная. На территории развития горнодобывающей промышленности сохраняется высокая опасность загрязнения окружающей среды. Несмотря на

Таблица 4

Суммарный рейтинг условной опасности от площадных и точно-площадных источников загрязнения (радиоактивное загрязнение спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС)

Рейтинг опасности от точечно-площадных источников	Рейтинг условной опасности от площадных источников загрязнения				
	Сельское хозяйство, рейтинг опасности — (6)				
	Радиоактивное загрязнение: (Ки/км ²), (рейтинг опасности)				
	≤ 0.2 (0)	0.2–0.5(2.5)	0.5–2.5 (5)	2.5–7.5(10)	7.5–20(15)
Отсутствует угольная промышленность	6 (ус) [1]	8.5 (ус)[2]	11 (сл)[3]	16 (сп)[4]	21 (в)[5]
Угольная промышленность, рейтинг опасности — (10)	16 (сп) [6]	18.5 (сп)[7]	21 (в)[8]	26 (ов)[9]	31 (чв)[10]

Примечание: рейтинг условной опасности: 0–10 — условная (ус); 10–15 — слабая (сл), 15–20 — средняя (сп), 20–25 — высокая (в), 25–30 — очень высокая (ов); ≥ 30 — чрезвычайно высокая (чв); [1] — номер типового участка.

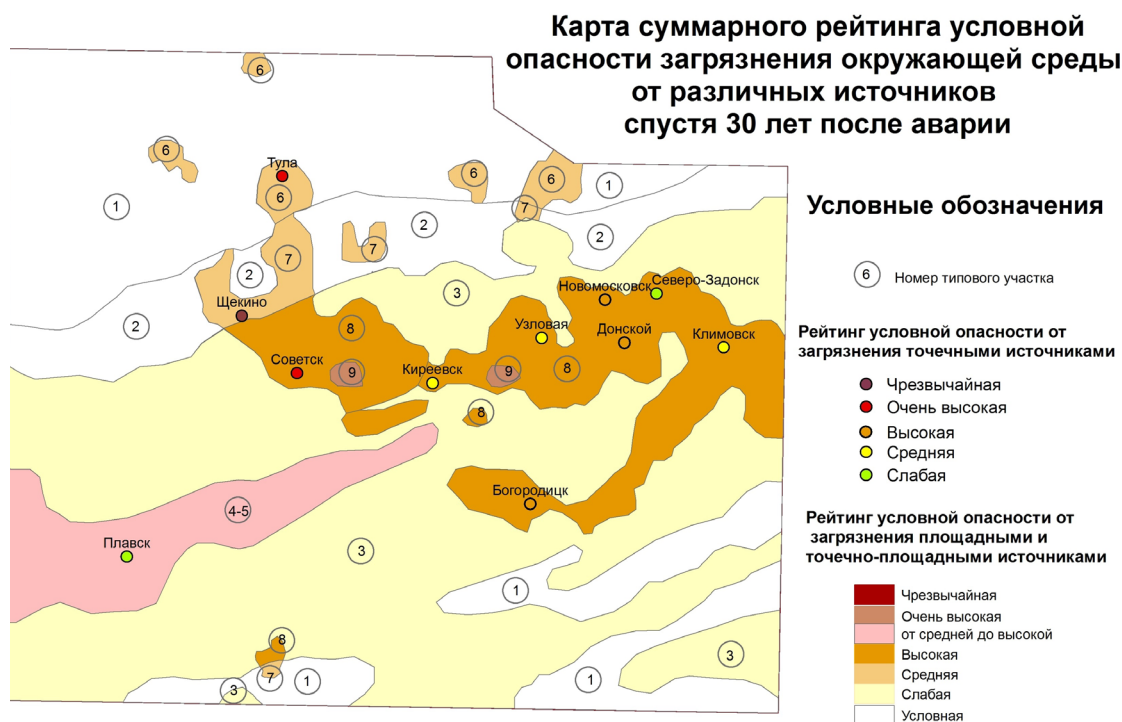


Рис. 5. Схематическая карта суммарного рейтинга условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения (спустя 30 лет после аварии). Масштаб 1: 55 000

то, что практически все шахты уже закрыты, их влияние на окружающую среду остается достаточно высоким.

Проведенная оценка суммарного рейтинга условной опасности загрязнения окружающей среды от различных источников загрязнения является основой для дальнейшей оценки уязвимости подземных вод как компонента окружающей среды к суммарной техногенной нагрузке в пределах изучаемой территории.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18–05–00476 и по Государственному заданию — номер Программы АААА–А18 — 118022090104–8.

Литература

1. Белоусова, А. П. (2005). Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областях: Российская территория. М.: ЛЕ-НАНД, 168 с.
2. Белоусова, А. П. (2012). Оценка защищенности подземных вод от загрязнения радионуклидами. Вода: химия и экология, № 5, сс. 11–17.
3. Белоусова, А. П. и Проскурина, И. В. (2010). Подходы к оценке техногенной нагрузки как фактора опасности за-

грязнения подземных вод. Вода: химия и экология, № 12, сс. 2–11.

4. Белоусова, А. П. и Руденко, Е. Э. (2018). Особенности унифицированной методики оценки защищенности подземных вод от загрязнения. Недропользование XXI век, № 2, сс. 154–161.

5. Геоцентр-Москва (2012). Схематическая карта состояния подземных вод упинского водоносного горизонта в центральной части Тульской области [online] Доступно по ссылке: http://hge.spbu.ru/mapgis/subekt/tylskaya/gg_Page_07.pdf [Дата обращения: 04.03.2019].

6. ГИС-Атлас «Недра России» (2018). Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации ГИС-Атлас «Недра России». Карта инфраструктуры минерально-сырьевого комплекса [online] Доступно по ссылке: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#3a448a49985ce95f0> [Дата обращения: 21.01.2019].

7. Горная энциклопедия (2018). Загрязнение природной среды [online] Доступно по ссылке: <http://www.mining-enc.ru/z/zastryaznenie-prirodnoj-sredy> [Дата обращения: 21.01.2019].

8. Елохина, С. Н. (2004). Исследование геоэкологических последствий самозатопления шахтных полей. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, № 5, сс. 405–414.

9. Елохина, С. Н. (2013). Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 187 с.

10. Козлова, В. М. (2010). Фондовый отчет 499441. Гидрогеологическая карта дочетвертичных отложений. Масштаб 1:200 000. Оценка запасов подземных вод на участке действу-

ющего водозабора котельной Центральная и ЦТП № 3 ОАО «Региональные энергетические сети» в г. Кимовск Тульской области (по состоянию изученности на 01.04.2010 г.). Тула: ООО «Геология и информационные ресурсы».

11. Курбаниязов, Р. А. (2005). Фондовый отчет 486217. Карта по Тульскому промрайону. Изучение региональных особенностей формирования ресурсов подземных вод, природных и техногенных аномалий, их химического состава в основных эксплуатационных водоносных горизонтах Тульского промрайона. Тула: ООО «Спецгеолразведка».

12. Мастерская своего дела (2018). Подземные воды как компонент окружающей среды. Влияние на проседание земной поверхности [online] Доступно по ссылке: <http://msd.com.ua/podzemnye-vody-kak-komponent-okruzhayushhej-sredy/vliyanie-na-prosedanie-zemnoj-poverxnosti/> [Дата обращения: 21.01.2019].

13. Министерство природных ресурсов Российской Федерации (2006). Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году». М.: АНО «Центр международных проектов», 500 с.

14. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (2015). Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2014 году». М.: НИИ-Природа, 270 с.

15. Покладенко, С. И., Заленская, В. П. и Молчанова, Л. А. (2000). Фондовый отчет 474381. Государственный мониторинг геологической среды. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Тульской обл. за 1999 г. Выпуск 5. Тула: Тулагеомониторинг.

References

1. Belousova, A. P. (2005). *Groundwater resources and their protection against pollution in the Dnieper River basin and its individual areas: Russian territory*. Moscow: LENAND, 168 p.
2. Belousova, A. P. (2012). Radionuclide pollution of groundwater — security assessment. *Water: Chemistry and Ecology*, No 5, pp. 11–17.
3. Belousova, A. P. and Proskurina, I. V. (2010). Technogenic load as risk factor of groundwater contamination process. *Water: Chemistry and Ecology*, No. 12, pp. 2–11.
4. Belousova, A. P. and Rudenko, E. E. (2018). Features of a unified methodology for assessing the protection of groundwater from pollution. *Nedropolzovanie XXI vek*, No. 2, pp. 154–161.
5. Geocenter-Moscow (2012) *Schematic map of groundwaters in the Upinsky aquifer in the central part of the Tula Region*. [online] Available at: http://hge.spbu.ru/mapgis/subekt/tylskaya/gg_Page_07.pdf. [Date accessed 04.03.2019].
6. GIS-Atlas “Mineral Resources of Russia” (2018). *Updated GIS-packages of the latest geological information GIS-Atlas “Mineral Resources of Russia”. Map of the mineral resource sector infrastructure*. [online] Available at: <http://atlaspacket.vsegei.ru/#3a448a49985ce95f0> [Date accessed 21.01.2019].
7. Mining Encyclopedia (2018). *Environment pollution*. [online] Available at: <http://www.mining-enc.ru/z/zagryaznenie-prirodnoj-sredy> [Date accessed 21.01.2019].
8. Elokhina, S. N. (2004). Investigation of geoenvironmental consequences of self-flooding of mine areas. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, No. 5, pp. 405–414.

9. Elokhina, S. N. (2013). *Hydrogeoecological effects of mining technogenesis in the Urals*. Yekaterinburg: ООО UIPTs, 187 p.

10. Kozlova, V. M. (2010). *Fund report No. 499441. Hydrogeological map of pre-Quaternary deposits. Scale 1:200,000. Estimation of groundwater reserves at the site of operational water intake of the Tsentralnaya boiler house and Central Heating Station No. 3 of ZAO Regional Energy Networks in Kimovsk, Tula Region (according to the state of exploration as of April 1, 2010)*. Tula: ООО Geology and Information Resources.

11. Kurbaniyazov, R. A. (2005). *Fund report No. 486217. Map of the Tula industrial area. Studying regional features of formation of groundwater resources, natural and man-made anomalies, their chemical composition in the main operational aquifers of the Tula industrial area*. Tula: ООО Spetsgeolrazvedka.

12. Masterskaya svoego dela (2018). *Groundwater as a component of the environment. Effect on subsidence of the earth's surface*. [online] Available at: <http://msd.com.ua/podzemnye-vody-kak-komponent-okruzhayushhej-sredy/vliyanie-na-prosedanie-zemnoj-poverxnosti/> [Date accessed 21.01.2019].

13. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation (2006). *National Report “On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2005”*. Moscow: Autonomous Non-Profit Organization “Center for International Projects”, 500 p.

14. Ministry of Natural Resources and the Environment of the Russian Federation (2015). *National report “On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2014”*. Moscow: NIA-Priroda, 270 p.

15. Pokladenko, S. I., Zаленская, V. P. and Molchanova, L. A. (2000). *Fund report No. 474381. State monitoring of the geological environment. Information bulletin on the state of the geological environment in the Tula Region for 1999. Issue 5*. Tula: Тулагеомониторинг.

Авторы

Белусова Анна Павловна, д-р географ. наук, профессор
Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
E-mail: anabel@iwp.ru

Руденко Елена Эдуардовна

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
E-mail: schickal@rambler.ru

Миняева Юлия Владимировна

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
E-mail: anabel@iwp.ru

Authors

Belousova, Anna Pavlovna, Dr. of Geography, Professor
Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia
E-mail: anabel@iwp.ru

Rudenko, Elena Eduardovna

Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia
E-mail: schickal@rambler.ru

Minyaeva Yuliya Vladimirovna

Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia
E-mail: jminya77@mail.ru