

---

---

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

---

---

УДК 504.03: 911.375.4(470)

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ЗАКРЫТЫХ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2022 г. В.Р. Битюкова\*, О.Е. Прусихин\*\*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия*

*\*e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru*

*\*\*e-mail: olegprus2000@mail.ru*

Проведена комплексная оценка экологической ситуации в закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАО) Российской Федерации с использованием интегрального индекса экологической напряженности и кластерного анализа. Для этого использовалась составленная авторами база данных, созданная на основе открытых источников Росводресурсов, Ростехнадзора, моделей загрязнения воздуха ЕМЕР и спутниковых снимков USGS. На основе кластерного анализа построены две типологии ЗАО по уровню экологической напряженности. Показана роль специализации как главного фактора формирования экологической ситуации в городах – ЗАО, что связано с технологическими процессами на их градообразующих предприятиях. Выявлено, что ЗАО оказывают наибольшее воздействие на водные ресурсы и радиационную обстановку. Определены группы городов с наиболее высокой экологической напряженностью и территории их концентрации: Урал, Европейский Север, Красноярский край. Отмечено, что в городах с благоприятной экологической ситуацией наибольшее влияние на нее оказывают природные условия и географическое положение относительно крупных центров загрязнения. Отмечена стабильность и благоприятность экологической ситуации в большей части ЗАО России, что связано с отсутствием на их территории значительных источников загрязнения. Выявлено, что среди городов-ЗАО наихудшей экологической обстановкой отличается Новоуральск.

*Ключевые слова:* экология города, экологическая напряженность, кластерный анализ, интегральный индекс, типология городов, специализация, закрытые города.

DOI: 10.5922/1994-5280-2022-1-9

**Введение и постановка проблемы.** Трансформация социально-экономической ситуации влечет за собой изменения экологической ситуации городов. Несмотря на базовый тренд снижения экологической напряженности в мире, существуют локальные места, которые не подчиняются данному тренду. Так, в городах разного типа свои особенности антропогенного воздействия на городскую среду и ее экологическое состояние. Отдельным типом городов являются закрытые административно-территориальные образования (ЗАО), на территории которых, в соответствии с Федеральным законом № 3297-ФЗ [19], действуют организации,

осуществляющие разработку, изготовление, хранение и утилизацию оружия массового поражения, переработку радиоактивных и других представляющих повышенную опасность техногенного характера материалов, военных и иных объектов (далее – организации и (или) объекты), для которых в целях обеспечения обороны страны и безопасности государства устанавливается особый режим безопасного функционирования и охраны государственной тайны, включающий специальные условия проживания граждан. На территории ЗАО действует ряд ограничений на хозяйственную деятельность, а в случае возникновения техногенной аварии на

центральной объекте вводится режим зоны воздействия. Вышеуказанные особенности ЗАТО делают их интересными объектами исследования, а изменения в характерной для них экологической ситуации – актуальной темой.

Цель исследования – выявление на основе интегральной оценки закономерностей, особенностей и факторов изменения экологической ситуации в ЗАТО в период 2008–2019 гг.

**Обзор ранее выполненных исследований.** В сфере экологии города в последние годы проводился целый ряд исследований, посвященных особенностям экологической ситуации в городах разной специализации, предложены разномасштабные методические и теоретические подходы к комплексной и покомпонентной оценке экологической ситуации в городах [2]. Опубликован экологический рейтинг всех 1110 городов России по интегральному индексу антропогенного воздействия [28]. Рассматриваются особенности трансформации экологических индикаторов в городах разной людности (например, малых и средних городов) [2], выявлены особенности столичных городов [5; 6], глубоко исследовано влияние экологической ситуации и промышленных зон города на рынок недвижимости [8]. В крупном масштабе территориальные различия экологической ситуации внутри городов рассматриваются, как правило, для Москвы или других крупнейших городов. Однако, до настоящего момента не было исследований, посвященных экологической ситуации в ЗАТО.

Исследовательских работ по ЗАТО немного, что связано, в том числе, с закрытостью данных. Недостаток статистических данных привел к тому, что значительная часть работ по данной тематике носит не научный, а публицистический характер. Впервые информация о численности населения закрытых городов была опубликована государственными статистическими органами только в 1994 г. (до этого жители ЗАТО административно приписывались к другим городам). Результатом стали работы, посвященные истории закрытых городов, вопросам их экономического развития и культурной среды. В частности, в работах Г.М. Лаппо и П.М. Поляна закрытые города рассматривались как уязвимое звено системы расселения, особый тип

моногородов, испытывающий тенденцию к депопуляции и экономической стагнации [7]. Наиболее часто публикации посвящаются «городам Росатома». Одна из наиболее полных работ по ЗАТО опубликована Д.В. Зайцем [4]. Автор приходит к выводу, что необходимым условием дальнейшего развития закрытых городов является снятие закрытого статуса и их открытие внешнему миру.

#### *Особенности сети ЗАТО России*

Развитие сети ЗАТО происходило в несколько этапов под влиянием различных факторов как ответ на вызовы каждого периода:

- в довоенный период ЗАТО создавались в основном как центры полигонов испытаний новых видов вооружений исходя из удаленности от границы, крупных городов, а также наличия естественных барьеров;
- в 1940–1950-е гг. возникли атомграды как центры реализации атомного проекта, важным требованием к размещению которых становится наличие водных ресурсов;
- в 1960–1980-е гг. стали создаваться собственно военные ЗАТО. в связи с чем началось создание, прежде всего, сети военно-морских и ракетных закрытых городских поселений. Для них ключевыми факторами стали близость к границе или к столице, для ЗАТО ВМФ – приморское положение, для центров связи и «научекомких» ЗАТО – близость к Москве, для космодромов и полигонов – плоский рельеф и локальные природные факторы. Кроме того, для большей части закрытых городов важным фактором выступала удаленность от крупных населенных пунктов. Основными регионами возникновения ЗАТО стали Урал и Центральная Россия. Затем ЗАТО распространились на Сибирь, Европейский Север и Дальний Восток;
- начиная с 1990-х гг. началось сжатие сети ЗАТО: часть объектов закрылась или готовились к закрытию, некоторые остались на территории новых независимых государств.

В настоящее время на территории России расположено 38 ЗАТО, находящихся под управлением ГК «Росатом» (10), ГК «Роскосмос» (3), Минобороны (24) и Минпромторга (1). Большая их часть – это малые города

и поселки городского типа, преимущественно военные базы, лишь 10 городов-атомградов относятся к средним и большим [20]. Совокупное население ЗАТО – чуть больше 1 млн чел. Наибольшая концентрация населения отмечается в ЗАТО с атомной специализацией. Учитывая экологическую опасность возможных аварийных ситуаций на атомных объектах, подобное расположение населения является источником экологического риска [4].

#### **Методика и материалы исследования.**

Материалом для исследования послужила база данных, составленная на основе открытых источников. Это базы данных в разрезе муниципальных образований различных ведомств:

- Росводресурсов (показатели воздействия на водные ресурсы, 2009–2019 гг.) [22; 23; 25: 26];
- Ростехнадзора (показатели образования отходов, 2009 г.) [24];
- бюллетени Росстата (данные о населении и площади ЗАТО, 2009–2019 гг.) [20];
- отчеты о радиационной обстановке на территории Российской Федерации и сопредельных государств НПО «Тайфун» Росгидромета (показатели, характеризующие радиационную обстановку, 2009–2018 гг.) [9–18];
- данные Росприроднадзора (объемы выбросов загрязняющих веществ, 2018–2019 гг.) [27; 28]. Для дополнения данных за недостающие годы использовались модели атмосферного загрязнения ЕМЕП MSC-W, дающие показатели концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, 2013–2018 гг. [29].

Влияние рельефа, водных объектов и растительности в городах оценивалось на основе космических снимков Landsat-8, размещенных в системе USGS EarthExplorer [30].

Для оценки экологической ситуации в ЗАТО методика оценки экологической напряженности (ЭН), разработанная для городов России [2; 3] была трансформирована с учетом ряда требований. Во-первых, необходимым был учет статистической обеспеченности. Из-за закрытости и недостатков статистического учета для закрытых городов доступен весьма малый перечень

статистических показателей. В связи с этим невозможно использование большей части зарубежных методик, а также включение в интегральную оценку экономических показателей. Во-вторых, обязательным требованием является использование в оценке показателей воздействия на водные ресурсы и радиационную обстановку. Именно эти показатели выделяют ЗАТО среди других городов, а также являются факторами дифференциации закрытых городов. В-третьих, необходимо учитывать влияние природного фактора. Большая часть ЗАТО расположена в слабозаселенных местах, на относительно труднодоступных территориях, в окружении лесов и водных объектов, что связано с обеспечением секретности и защитой крупных городов от влияния расположенных в закрытых городах объектов. В то же время, водные и лесные объекты оказывают оздоравливающее влияние на городскую экологическую ситуацию. Кроме того, на состояние окружающей среды влияют атмосферная циркуляция и рельеф, которые могут как способствовать, так и препятствовать застаиванию воздуха и накоплению загрязнений.

Учитывая выше описанные требования, оптимальным видится использование доработанной методики оценки экологической напряженности [2; 3]. Было решено отказаться от расчета общего интегрального индекса в пользу построения типологии ЗАТО по степени экологической напряженности посредством кластерного анализа. Проблема интегрального индекса – в необходимости расчета весовых коэффициентов, отражающих важность его составляющих в общей картине. Оценки экологической ситуации в ЗАТО ранее не проводились, что не позволяет использовать референтные значения для расчета коэффициентов регрессионной модели. Использование равных весов требует обоснования. Кластерный анализ подобных недостатков лишен. Конечно, кластеризация не позволяет определить состояние экологической ситуации в каждом конкретном городе, однако позволяет сделать определенные выводы.

Для комплексной оценки использовался набор показателей, разбитых на пять блоков. Каждый блок формирует отдельный индекс, полученный путем сложения стандартизованных среднегодовых значений показателей, входящих в данный блок. Стандартиза-

ция показателей, ввиду гетероскедастичности массива данных, производилась путем логарифмического масштабирования. В целях упрощения интерпретации результатов стоит избегать отрицательных значений, для чего все показатели были приведены к значениям от 1 и выше путем умножения всех значений на 100. Итоговую формулу расчета индекса можно представить следующим образом:

$$I = \sum_{i=1}^n \lg(100 \times q) , \quad (1)$$

где  $I$  – значение индекса,  $q$  – значение показателя.

Блоки «Природа» и «Вода» включают показатели, противоположные остальным индикаторам в блоке. Для «Воды» это доля повторного и последовательного водоснабжения, способствующая оздоровлению экологической ситуации, для «Природы» – расчлененность рельефа и потенциал загрязнения атмосферы, способствующие ее ухудшению. Данные субиндексы рассчитываются по следующей формуле:

$$I = \sum_{i=1}^n \lg(100 \times q_i) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lg(100 \times q_a)} , \quad (2)$$

где  $I$  – значение субиндекса,  $q_i$  – значение показателя,  $q_a$  – значение показателя, требующего обратного учета.

Полученные индексы использовались в кластерном анализе, результатом чего стало разделение ЗАТО на несколько групп, отличающихся отдельными чертами экологической ситуации, пригодных для дальнейшего анализа. Кластерный анализ проводился путем иерархической кластеризации с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics. Для кластеризации использовался метод межгрупповой связи, в качестве меры расстояния между значениями использовался квадрат Евклидова расстояния.

Рассмотрим каждый блок показателей в отдельности.

**Воздух.** Данный блок включает в себя показатели воздействия закрытых городов на атмосферу, характеризуется концентрациями ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) частиц  $\text{pm}_{2.5}$ ,  $\text{pm}_{10}$ , оксидов азота в пересчете на азот [29]. Поправки на выбросы расположенных поблизости городов, в отличие от оригинальной методики, не вводились, что связано с использованием смоделированных концентраций, а не объема выбросов в атмосферу.

лированных концентраций, а не объема выбросов в атмосферу.

**Вода.** Данный блок включает показатели воздействия на водные ресурсы: объем сброса сточных вод (тыс.  $\text{м}^3$ ) [26], забор воды из природных водных объектов (тыс.  $\text{м}^3$ ) [22], доля последовательного и оборотного водоснабжения (% от общего водопотребления) [25]. Специализация ЗАТО на работе с ядерными материалами сопряжена с высоким уровнем воздействием на водные ресурсы, что делает данные показатели фактором дифференциации городов. Использование оборотного водоснабжения позволяет снизить забор и сброс воды, что снижает воздействие на природные водные объекты, поэтому субиндекс рассчитывается по формуле (2).

**Радиация.** Данный блок включает в себя характеристики радиационной обстановки на территории ЗАТО: объемная активность радионуклидов (суммарная,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ; все – в  $\text{Бк}/\text{м}^3$ ), активность выпадений радионуклидов (суммарная,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ; все – в  $\text{Бк}/\text{м}^2$ ) [16–25].

**Отходы.** Данный блок включает в себя один показатель – количество образованных отходов производства и потребления (тыс. т) [24]. На территории ЗАТО располагается ряд предприятий, в ходе работы которых образуется значительное количество отходов, в том числе опасных для окружающей среды отходов I и II классов, поэтому учет количества отходов при оценке экологической обстановки в ЗАТО важен.

**Природа.** Данный блок включает в себя набор показателей, характеризующих потенциал природной среды к самоочищению: потенциал загрязнения атмосферы (интегральный показатель) [1], уклон рельефа (%), доли зеленых насаждений (%) и водных объектов (%) в общей площади города (рассчитаны автором на основе космических снимков Landsat-8 [30]). Природные условия городов оказывают важное влияние на распространение загрязнителей. Они могут как способствовать рассеиванию и выносу загрязняющих веществ, так и наоборот, их накоплению. К этому же блоку относятся и характеристики планировочной структуры городов.

**Результаты исследования.** Главный фактор экологического состояния ЗАТО – воздействие на водные источники. Объем забора воды из природных водных объек-

тов закрытыми городами составляет 2% от общероссийского потребления, что в 3 раза превышает их долю в населении. Данный показатель демонстрирует сильную поляризацию. Крупнейшими потребителями воды среди ЗАТО стали Зеленогорск и Северск, в число крупных водопотребителей вошли Озерск, Железногорск, Новоуральск, специализирующиеся на производстве ядерного топлива, обогащении урана и утилизации радиоактивных отходов, а также Североморск – главная база Северного флота. Остальные ЗАТО как правило имеют невысокое водопотребление, согласующееся с их коммунальными нуждами.

В целом, для ЗАТО характерно снижение водопотребления (в среднем на 50%) в течение 2009–2019 гг. Самое масштабное снижение (в 4 раза) характерно для городов с высоким уровнем водопотребления, в основном в Железногорске, что связано с остановкой плутониевых реакторов, вводом в эксплуатацию «сухого» хранилища РАО и модернизацией «мокрого» хранилища на ГХК – крупнейшем предприятии города. Объем забора городов с наиболее высоким уровнем водопотребления также падает, что связано со снижением объемов производства на Си-

бирском химическом комбинате (г. Северск Томской обл.) и Электрохимическом заводе, входящем в корпорацию «ТВЭЛ» (г. Зеленогорск Красноярского края).

Наибольшую долю в суммарном водопотреблении ЗАТО занимают в Томской области и Красноярском крае – здесь расположен ряд атомградов с высоким уровнем водопотребления (рис. 1). Наибольшая концентрация городов с высоким водопотреблением отмечается на Урале, где расположены преимущественно города с атомной специализацией. Наименьшая доля ЗАТО в суммарном водопотреблении отмечена для городов с оборонной специализацией, служащих базами РВСН, ВКС или ВМФ – в этих городах нет водоемких предприятий, и забранная вода идет преимущественно на бытовые нужды.

Распределение показателя доли последовательного и оборотного водоснабжения подтверждает зависимость потребления воды от специализации ЗАТО. Значительная часть городов не имеет оборотного водоснабжения, лишь в 14 из них (в основном атомградах) доля оборотного водопотребления выше 0%. Большая часть ЗАТО пользуется подземными источниками воды, также выделяется группа городов, пользующихся поверхност-

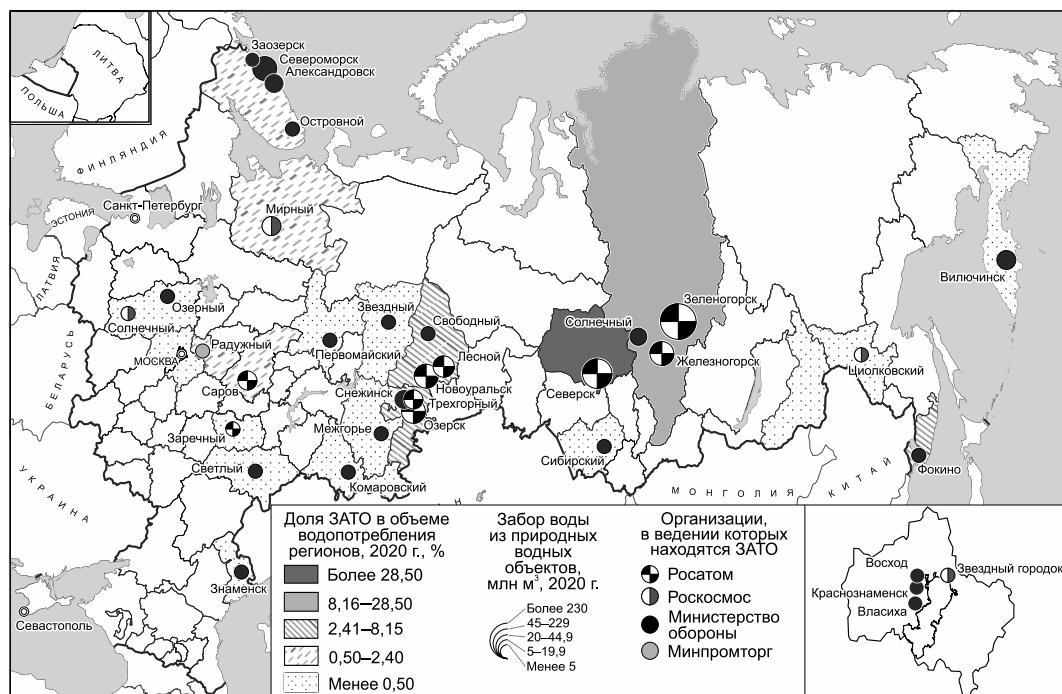


Рис. 1. Забор воды в ЗАТО и их доля в общем объеме водопотребления регионов размещения. Составлено авторами по данным Росводресурсов [22].



ными источниками (большая часть атомградов, что связано с их расположением вблизи крупных водных объектов), что подтверждает роль фактора близости к рекам и озерам.

Необходимость отслеживания *радиационного фона* ЗАТО связана с тем, что некоторые из них являются местами расположения радиационно-опасных объектов (РОО). К данной категории относятся города Росатома, Минобороны (Североморск, Видяево, Александровск, Полярный, Вилючинск). В первом случае радиационно-опасными объектами являются предприятия отдельных этапов ядерного топливного цикла (ЯТЦ), во втором – пункты базирования военных судов с ядерным двигателем и/или с ядерными вооружениями.

По активности среднесуточных суммарных атмосферных выпадений выделяется Саров, Северск и ЗАТО Мурманской области. Наименьшим уровнем отличались ЗАТО Московской области, что связано с отсутствием РОО на территории Московского региона. В целом наблюдается закономерность: наибольшие выпадения фиксируются в местах расположения РОО, входящих в ЯТЦ, т.к. выбросы радионуклидов на подобных объектах наиболее вероятны. По объемной активности на первые места выходят Железногорск и Зеленогорск (Красноярский край), при этом основная часть объемной активности, по информации предприятия, приходится на плутоний-239, образующийся при производстве МОКС-топлива.

Цезий-137 и стронций-90 – радионуклиды преимущественно техногенного происхождения, которые выбрасываются в окружающую среду в результате аварий на РОО и ядерных взрывов. Лидерами по активности данных радионуклидов являются Озерск, который опережает прочие ЗАТО на несколько порядков, города в Свердловской области, входящие в зону действия Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), в Сарове – это результат ядерных испытаний во Всероссийском НИИ экспериментальной физики. В Мурманской области отмечено превышение только по цезию-137 в результате работы судоремонтных предприятий по работе с атомными кораблями и пункта захоронения РАО. При этом стоит отметить, что объемные активности стронция-90 и цезия-137 в ЗАТО не превышают допустимую объемную активность радионуклида в воздухе для населе-

ния, а активности радиоактивных выпадений в большей части закрытых городов близки к фоновым.

Можно выделить ряд особенностей, обуславливающих радиационную обстановку на территории ЗАТО (в порядке уменьшения влияния):

1. *Аварии.* Крупные аварийные ситуации на РОО приводят к загрязнению огромных территорий, установлению неблагоприятной радиационной обстановки. Для зон аварийного радиационного загрязнения характерны выпадения цезия-137 и стронция-90, превышающие фоновые значения. В зоне аварийного загрязнения из числа ЗАТО находится только Озерск и (отчасти) Снежинск. Однако обширные зоны радиоактивных загрязнений влияют и на другие города за счет ветрового переноса радионуклидов, поднимаемых ветром с поверхности загрязненной почвы. Так, влияние зоны ЧАЭС заметно в Сарове и ЗАТО Московской области, Восточно-Уральского радиоактивного следа – в Свердловской области, Северске.

2. *Исторический фактор.* Предприятия атомно-промышленного комплекса, основанные раньше, как правило, вносят больший вклад в радиоактивное загрязнение. На заре их существования не было экологических норм, а фильтрующие установки были менее эффективными. Так, на ПО «Маяк» в 1940–1950-х гг. жидкие РАО сливались в открытую гидрографическую сеть. Действие этого фактора заметно в Озерске, Железногорске и Зеленогорске.

3. *Способ хранения отходов.* Актуален для ЗАТО с предприятиями ядерного технологического цикла. Наибольшее влияние на загрязнение оказывается при открытом хранении отходов, в первую очередь жидких: в данном случае радионуклиды накапливаются в донных отложениях водоемов. Именно такой способ захоронения привел к проблеме озера Карачай и загрязнению Теченского каскада водоемов, с которых также выносятся радионуклиды. Применение подземного захоронения на ГХК в Железногорске и СХК в Северске значительно снизило загрязнение.

4. *Специализация.* Наиболее неблагоприятная радиационная обстановка формируется в ЗАТО, специализирующихся на производстве оружейного плутония и переработке радиационно опасных объектов (Озерск,

Железногорск, Зеленогорск), более благоприятная – на комбинатах по обогащению урана (Новоуральск, Трехгорный, Северск), наиболее благоприятная (среди ЗАТО – пунктов расположения РОО) – в военных ЗАТО (города Мурманской области, Вилучинск (Камчатский край)). Причина – в технологических особенностях производств.

Одним из направлений воздействия ЗАТО является образование и накопление отходов, формирующихся в процессе производства и потребления. По объему отходов I класса выделяется Новоуральск, опережающий все остальные исследуемые города на несколько порядков. Большая часть этих отходов образовалась при производстве ядерных материалов (по данным Ростехнадзора): в Новоуральске расположен крупнейший в России Уральский электрохимический комбинат, на долю которого приходится до 48% производства обогащенного гексафторида урана (по данным Росатом ТВЭЛ). За Новоуральском следует группа городов-атомградов, которые специализируются на обогащении урана и переработке радиоактивных отходов. Большая часть этих отходов (90–95%) образуется в сфере производства ядерных материалов, научных исследований и научно-технической деятельности, производстве рентгеновской техники, что позволяет связать столь большой объем с их специализацией. Для прочих ЗАТО характерны крайне низкие объемы образованных высокотоксичных отходов.

*Воздействие на атмосферу* применительно к ЗАТО имеет меньшую актуальность.

Показатели концентрации частиц  $pm_{2.5}$ ,  $pm_{10}$  и оксидов азота высокие в ЗАТО различной специализации, расположенных поблизости от крупных городов. Города-лидеры – Звездный городок и Знаменск – расположены по направлению ветра со стороны Москвы и Волгограда соответственно. Значение имеют и отдельные объекты, расположенные поблизости от ЗАТО: так, ЗАТО Сибирский находится в 20 км к северо-западу от золоохранилищ Барнаульских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2.

Кроме того, города, расположенные в сухих степях, вблизи полупустынь и соленых озер отличаются более высокой концентрацией  $pm_{2.5}$  и  $pm_{10}$ , связанной с ветровым рассеиванием. Северные ЗАТО, расположенные в тундровой зоне, на скалистых поро-

дах (например, ЗАТО Мурманской области) имеют меньшие концентрации ультрадисперсных частиц. Данный фактор не влияет на загрязнение атмосферы оксидами азота.

Кроме географического положения по отношению к крупным городам, на атмосферное загрязнение влияет количество источников загрязнения (в особенности – автомобилей), а также источники пылевых частиц (карьеры, золоотвалы).

### *Типологии ЗАТО по уровню экологической напряженности*

На основе исходных данных были составлены две типологии ЗАТО: по уровню современной и по уровню накопленной экологической напряженности (ЭН). Различие между этими типологиями – в расчете индекса радиационной обстановки: при составлении типологии по уровню накопленной экологической напряженности учитывались объемные активности и выпадения стронция-90 и цезия-137. Данные радионуклиды образуются во время работы ядерных реакторов и других радиационно-опасных объектов и попадают в окружающую среду в значительных количествах только при радиационных авариях.

Рассмотрим каждую типологию в отдельности.

*1. Типология по уровню современной ЭН.* Выделяется 6 групп городов.

*Наиболее высокий уровень ЭН* отмечен только в одном городе – Новоуральске как центре обогащения урана. Поэтому город выделяется по уровню образования отходов и воздействия на водные ресурсы. Кроме того, город находится в зоне влияния Восточно-Уральского радиоактивного следа, Белоярской АЭС и Института реакторных материалов, что обуславливает высокий уровень радиации. Потенциал самоочищения природной среды также не высок: город расположен в межгорной котловине, в зоне высокого потенциала загрязнения атмосферы. Атмосферное загрязнение в основном определяется влиянием переноса выбросов с Рефтинской ГРЭС, расположенной в 50 км от Новоуральска (рис. 2).

*Высокий уровень ЭН* отмечен в группе городов на Урале и Кольском полуострове. В этих ЗАТО расположены объекты атомно-промышленного комплекса: обогатительные фабрики и заводы по переработке радиоак-

тивных отходов (РАО), отличающиеся высоким потреблением воды, радиационным фоном и уровнем образованием отходов. Военно-морские базы из этой категории обслуживают атомные подводные лодки, проводят операции по загрузке нового ядерного топлива и утилизации отработавшего. В то же время, данные города отличаются достаточно высоким природным потенциалом (в случае с ЗАТО Мурманской области – из-за высокой доли водных объектов).

Уровень ЭН выше среднего отмечен в группе городов с военной специализацией. Эти города отличаются высоким радиационным фоном: Свободный и Уральский (Свердловская область) находятся в зоне переноса радионуклидов с ВУРС и в зоне влияния Белоярской АЭС, в Заозерске производится хранение отработанного ядерного топлива судов Северного флота [17]. При этом значения индексов воздушных загрязнений нагрузки на водные ресурсы, образования отходов либо невысоки, либо на уровне среднего. Природный потенциал также не высок.

Уровень ЭН ниже среднего отмечен в группе городов с военной и атомно-промышленной специализацией. При этом, входящие в состав данной группы атомграды специализируются на машиностроении для атомной промышленности, разработке ядерных боеприпасов и не включены непо-

средственно в ЯТЦ. В связи с этим эти города отличаются низким радиационным фоном. Нагрузка на воздух низкая, а на водные ресурсы и уровень образования отходов по технологическим причинам – высокие. Выделяются данные города и по высокому природному потенциалу: сказывается высокая доля зеленых зон и водных пространств, а также низкий ПЗА.

Низкий уровень ЭН характерен для двух городов-военно-морских баз в Мурманской области – Видяево и Островного. Эти города выделяются высоким природным потенциалом, низкой нагрузкой почти на все компоненты природной среды. В то же время, эта группа отличается радиационным фоном выше среднего, что связано со специализацией городов и влиянием соседних РОО.

Незначительный уровень ЭН характерен для большей части ЗАТО. Специализация их различна. В основном это базы РВСН, ЗАТО ВКС и Роскосмоса, а также одно ЗАТО Росатома – Заречный, занятое производством оборудования для предприятий ЯТЦ. Данные закрытые города отличаются низким уровнем радиации и низкой нагрузкой на компоненты окружающей среды. В то же время, стоит отметить, что данные города отличаются высокой нагрузкой на атмосферу: в данную категорию входит ряд городов, расположенных вблизи от крупных загрязни-

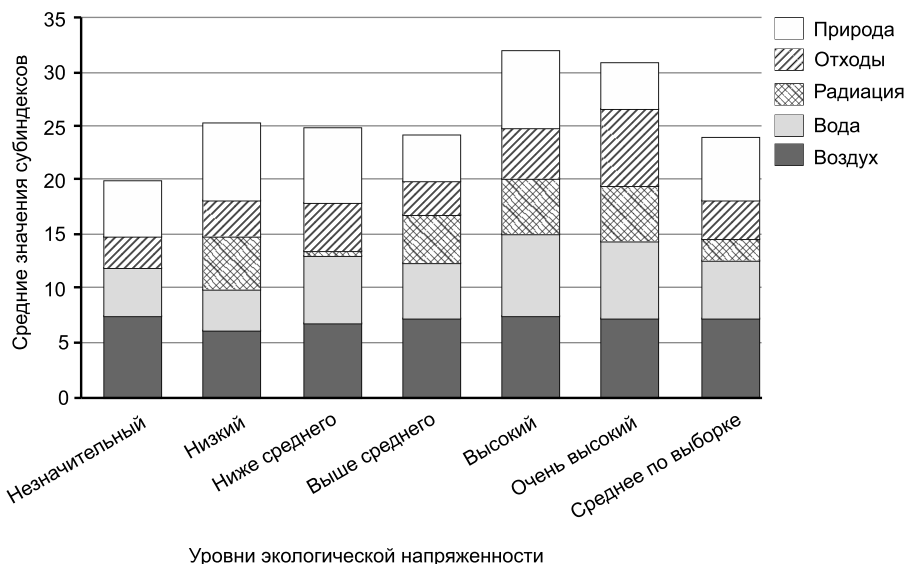


Рис. 2. Средние значения субиндексов по группам ЗАТО с разными уровнями современной экологической напряженности.

Составлено авторами.



телей воздуха – крупных городов (Москва), отдельных промышленных объектов (золотвалы Барнаульских ТЭЦ), либо в особых природных условиях, способствующих увеличению концентраций ультрадисперсных частиц в воздухе – степях и полупустынях. Кроме того, природный потенциал территории также не максимален: ряд входящих в данную категорию городов отличается невысокой долей зеленых клиньев, расположены в межгорных котловинах, в зонах с высоким ПЗА (например, Горный).

*Типология ЗАТО по уровню накопленной ЭН* также включает в себя 6 групп городов. Полученные типологии во многом схожи, различия видны лишь относительно положения отдельных городов. Это связано с тем, что концентрации стронция-90 и цезия-137 фиксируются в крайне небольшом числе населенных пунктов. В целом же, типология с учетом накопленной экологической напряженности более обоснована, что говорит о необходимости ее учета в исследовании. Причем в наибольшей степени за счет накопленного загрязнения расширяются две верхние группы.

*Наиболее высокий уровень ЭН* отмечен в двух городах Свердловской области – Лесном и Новоуральске. Расширение группы происходит за счет крайне высокого радиационного фона и высокого уровня образования отходов, воздействия на водные ресурсы на уровне выше среднего.

*Высокий уровень ЭН* отмечается в группе атомградов, расположенных в Сибири и на Урале, и специализирующихся на переработке РАО

и обогащению урана. Они выделяются высокой нагрузкой на водные ресурсы, высоким уровнем образования отходов, уровнем загрязнения воздуха выше среднего. Радиационный фон, наряду с технологическими особенностями работающих здесь предприятий, объясняется накопленными ранее в природных и антропогенных резервуарах РАО. Наиболее характерный в этом плане город – Озерск: для хранения РАО на ПО «Маяк» долгое время использовали открытые водные объекты, что привело к формированию Карачаевского радиационного следа. Важна и роль радиационных аварий, происшедших на ПО «Маяк» в Озерске (самая крупная из них произошла в 1957 г.) и СХК в Северске (в 1993 г.). В то же время, не стоит забывать, что влияние радиационных аварий на Озерск было снижено за счет мероприятий по очистке территории от радионуклидов.

Распределение ЗАТО по уровням ЭН достаточно сильно зависит от специализации. В обеих типологиях наиболее высокая экологическая напряженность отмечается в городах со специализацией на наиболее «грязных» стадиях ядерного топливного цикла. Однако в группе городов с уровнем ЭН выше среднего и ниже роль специализации снижается и начинают действовать другие факторы, такие как природный потенциал или географическое положение (табл. 1).

Распределение населения ЗАТО по уровням экологической напряженности очень неравномерно. Большая часть населения проживает в ЗАТО с критическим и высо-

**Таблица 1.** Распределение ЗАТО по уровням экологической напряженности и специализации

Специализация	Уровень экологической напряженности: (современный / с учетом накопленного загрязнения)					
	Очень высокий	Высокий	Выше среднего	Ниже среднего	Низкий	Незначительный
Ракетная база			2/2			9/10
Военно-морская база		2/0	1/0	2/5	2/2	
Космодром				1/0	0/1	1/1
Обогащение урана	1/1	2/2				
Переработка РАО		2/2				
Подготовка космонавтов						1/1
Прочие военные подразделения						4/3
Точные и лазерные приборы						2/2
Атомное машиностроение		2/1		2/1	0/2	1/1

ким уровнями экологической напряженности (суммарно до 0,5 млн чел.), что связано с высокой людностью атомградов. Значительное количество населения также проживает в ЗАТО с незначительным уровнем ЭН из-за их большого количества (рис. 3). Наибольшие различия между типологиями отмечены в категории с низким уровнем ЭН и уровнем ниже среднего, что связано с различиями в составе данных групп в различных типологиях: за счет низких активностей цезия-137 и стронция-90 военно-морские базы из категории с высокой степенью ЭН опускаются в категорию «ниже среднего» (см. рис. 3).

В таблице 2 отражено территориальное распределение ЗАТО с разным уровнем экологической напряженности. Как видно на карте, выделяется три группы городов с наиболее высокой экологической напряженности: на Среднем и Южном Урале, в Западной и Средней Сибири и на Кольском полуострове. Это связано с расположением на этих территориях ЗАТО с наиболее грязными производствами ядерного топливного цикла, военных баз, обслуживающих суда с ядерным двигателем, что вызвано соображениями секретности и близости ресурсной базы. Группа закрытых городов с умеренной и умеренно высокой степенью ЭН отмечается на Дальнем Востоке, Севере (Мирный) и в Поволжье (Саров). В прочих ЗАТО экологическая напряженность невысока.

**Выводы.** Проведенное исследование позволило сделать ряд выводов:

1. Специализация определяет экологическую обстановку в ЗАТО с наиболее низким качеством окружающей среды – здесь технологические процессы определяют нагрузку на компоненты среды и опасность потенциальных аварий, однако в городах с умеренной и низкой напряженностью экологическая обстановка связана с природными явлениями и влиянием соседних центров загрязнения.

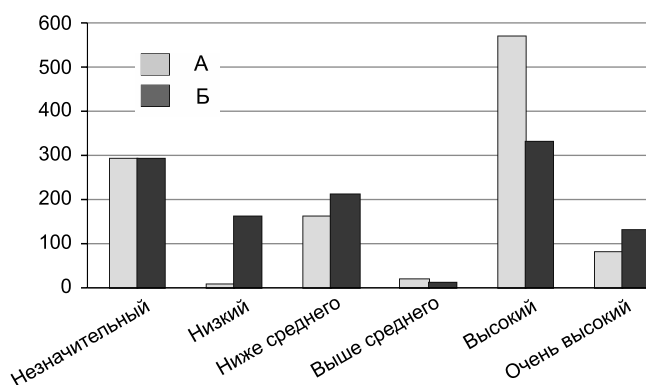
2. ЗАТО в первую очередь выделяются нагрузкой на водные ресурсы и радиационным фоном некоторые из них отличаются еще и высоким образованием отходов.

3. Очень высоким и высоким уровнем напряженности выделяется меньшая часть исследуемых городов, в большинстве из них экологическая обстановка достаточно стабильна.

4. ЗАТО с наиболее высоким (но не критическим) уровнем напряженности отличаются и высоким природным потенциалом, однако это нельзя считать результатом целенаправленной политики: свою роль сыграли как соображения секретности (природные объекты выступают хорошей маскировкой), так и прочие факторы.

Исходя из полученных выводов можно сделать ряд практических рекомендаций.

Особого внимания требуют ЗАТО, отличающиеся очень высокой и высокой экологической напряженностью, в которых при их высокой людности совокупно проживает более полумиллиона человек. Для их оздоровления необходимо снижение интенсивности радиационной обстановки, нагрузки на водные ресурсы. Наибольшее внимания



**Рис. 3.** Распределение населения ЗАТО по уровням современной экологической напряженности, тыс. чел. (А – без учета накопленного загрязнения; Б – с учетом накопленного загрязнения).

Составлено авторами.

Таблица 2. Распределение ЗАТО по уровням экологической напряженности и регионам

	Регионы	Уровень экологической напряженности: (современный / с учетом накопленного загрязнения)					
		Незначительный	Низкий	Ниже среднего	Выше среднего	Высокий	Очень высокий
Северный	Мурманская		2/0	0/5	1/0	2/0	
	Архангельская		0/1	1/0			
Центральный	Московская	5/5					
	Тверская	2/2					
	Владимирская	1/1					
Волго-Вятский	Кировская	1/1					
	Нижегородская	1/0	0/1				
Поволжский	Саратовская область	1/1					
	Башкортостан	1/1					
	Астраханская область	1/1					
Уральский	Свердловская область				2/2	1/0	1/2
	Челябинская область	1/0	0/2	2/0		1/1	
	Пермский край	1/1					
	Оренбургская область	1/1					
Западная и Восточная Сибирь	Красноярский край	1/1				2/2	
	Томская область					1/1	
	Алтайский край	1/1					
Дальний восток	Камчатский край		0/1	1/0			
	Забайкальский край	1/1					
	Амурская область	1/1					

требуют ЗАТО Свердловской, Челябинской, Мурманской областей и Красноярского края, а если говорить о конкретных городах – это Новоуральск, для оздоровления ситуации

в котором необходимо также снижение уровня отходов. Для улучшения обстановки в прочих ЗАТО, в первую очередь, необходима работа с соседними городами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э.Ю., Елекоева Л.И., Завадская Е.К. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: справочное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
2. Битюкова В.Р. Методы оценки экологической ситуации в городах: полимасштабность подходов // Теоретические и методические подходы в экономической и социальной географии. Отв. ред. В.Л. Бабурин и М.С. Савоскул. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 221–244.
3. Битюкова В.Р., Угарова Н.А. Комплексная оценка экологической напряженности городов Урала // Экология и промышленность России. 2003. № 10. С. 12–18.
4. Заяц Д.В. Закрытая Россия // География. 2004. № 7. С. 3–14.
5. Колдобская Н. А. Экологический рейтинг столиц постсоветских стран // Мозаика городских пространств: экономические, социальные, культурные и экологические процессы. Сб. мат-лов Всеросс. научн. конф. (Москва, МГУ, 27–29 ноября 2015 г.). М.: Геогр. ф-т МГУ, 2016. С. 195–201.
6. Колдобская Н.А. Возможности использования международных индексов для оценки экологической ситуации в крупных городах России // Экологические проблемы промышленных городов. Сб. научн. трудов 5-й Всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Е.И. Тихомировой. 2011. С. 42–44.
7. Лаппо Г.М., Полян П.М. Закрытые города: «Архипелаг ЗАТО» // Социологические исследования. 1998. № 2. С. 43–48.
8. Попов А.А., Саульская Т.Д., Шатило Д.П. Промышленные зоны как фактор экологической ситуации и дифференциации цен на жилье в Москве // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 2. С. 32–38.

9. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2018 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2019. 324 с.
10. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2017 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2018. 376 с.
11. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2016 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2017. 398 с.
12. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2015 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2016. 350 с.
13. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2014 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2015. 358 с.
14. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2013 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2014. 344 с.
15. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2012 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2013. 298 с.
16. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2011 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2012. 282 с.
17. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2010 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2011. 316 с.
18. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации и сопредельных государств в 2009 году: ежегодник. Обнинск: НПО «Тайфун», 2010. 316 с.
19. Федеральный закон №3297-ФЗ «О закрытом административно-территориальном образовании» (в ред. от 29.06.2018 №171-ФЗ).
20. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2019 г. М.: Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации, 2019.
21. Экология города / Под. ред. Н.С. Касимова. М.: Научный мир, 2004. 610 с.
22. Забор воды из природных водных объектов/База данных Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/34563> (дата обращения 15.12.2020).
23. Использование воды/База данных Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/34559> (дата обращения 15.12.2020).
24. Количество образованных отходов производства и потребления / База данных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/34560> (дата обращения 24.02.2021).
25. Объем повторного и последовательного водоснабжения/База данных Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/34560> (дата обращения 15.12.2020).
26. Объем сброса сточных вод / База данных Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/34559> (дата обращения 15.12.2020).
27. Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников / База данных Федеральной по надзору в сфере природопользования Российской Федерации//ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/42723> (дата обращения 24.02.2021).
28. Объем выбросов в атмосферу от передвижных источников / База данных Федеральной по надзору в сфере природопользования Российской Федерации //ЕМИСС – Обновляется ежегодно. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/42723> (дата обращения 24.02.2021).
29. EMEP MSC-W modelled air depositions and concentrations//EMEP MSC-W at Norwegian Meteorological Institute [Электронный ресурс]. URL: [https://emep.int/mscw/mscw\\_moddata.html](https://emep.int/mscw/mscw_moddata.html) (дата обращения: 20.02.2021).
30. USGS EarthExplorer//United States Geological Survey [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 15.03.2021).

Статья поступила в редакцию журнала 17 февраля 2022 г.

#### Об авторах:

*Битюкова Виктория Расуловна* – доктор географических наук, профессор кафедры экономической и социальной географии России географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

*Прусихин Олег Евгеньевич* – студент IV курса бакалавриата кафедры экономической и социальной географии России географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

#### Для цитирования:

*Битюкова В.Р., Прусихин О.Е.* Интегральная оценка экологической ситуации в закрытых административно-территориальных образованиях Российской Федерации // Региональные исследования. 2022. № 1. С. 102–114.

DOI: 10.5922/1994-5280-2022-1-9

## Integral assessment of environmental situation in closed administrative units in Russian Federation

V.R. Bityukova\*, O.E. Prusikhin\*\*

*Lomonosov Moscow State University, faculty of geography, Moscow, Russia*

*\*e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru*

*\*\*e-mail: olegprus2000@mail.ru*

In the paper there are a complex estimation of environmental situation in the enclosed administrative divisions (ZATO) of the Russian Federation using ecological stress index. The research based on authors-gathered database, composed of open data by Rosvodresursy, Rostekhnadzor, EMEP modelled air depositions and concentrations, USGS EarthExplorer. Using cluster analysis, two different typologies of the ZATOs was made. With the help of this methodic, the specialization was described as the main determinant of the ZATO environmental situation. The other findings are: ZATOs make pressure on water resources and radiation level. From the territorial point of view, Krasnoyarsky krai, European North and Ural are the areas of high ecological stress ZATOs concentration and the best environmental situation is in Novouralsk. The major part of Russian ZATOs, according to the results, have better and stable environmental situation.

*Keywords:* enclosed administrative division, city ecology, ecological stress, cluster analysis, index, city typology, specialization, enclosed cities.

Received 17.02.2022