DOI: 10.21513/0207-2564-2017-5-21-43 УДК 504.43

СУБРЕГИОНАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко*

Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина д. 3; **belanna47@mail.ru*

Резюме. В статье рассматриваются подходы к мелкомасштабному субрегиональному районированию техногенной нагрузки на окружающую среду (ОС) и подземные воды как одного из её компонентов на территории Российской Федерации. Статья состоит из трех разделов: первый посвящен субрегиональному районированию техногенной нагрузки на ОС, в качестве техногенной нагрузки рассматриваются выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод, а также учитываются некоторые социальные аспекты проблемы – количество населения, проживающего в городах с высоким загрязнением атмосферного воздуха, для интегральной оценки влияния негативных факторов на ОС использовались специальные безразмерные индексы, характеризующие каждый фактор; второй – субрегиональное районирование техногенной нагрузки на ресурсы пресных подземных вод, на которые влияет водоотбор из них с целью обеспечения населения питьевой водой, для оценки его влияния использовались специальные индикаторы и индексы устойчивости подземных вод к негативному воздействию, которые позволяют оценивать суммарное воздействие на подземные воды от нескольких негативных факторов; третий – субрегиональное районирование техногенной нагрузки на качество подземных вод, оценивается экологическое состояние поземных вод на водозаборах с использованием индексов опасности загрязнения, рассчитанным по предложенной методике, учитывающей ПДК и класс опасности конкретных загрязняющих веществ. Для субрегионального районирования использовались данные, опубликованные в Государственных докладах «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации» и данные мониторинга за подземными водами, опубликованные в Информационных бюллетенях «О состоянии недр на территории Российской Федерации».

Ключевые слова. Субрегиональное районирование, окружающая среда, подземные воды, индикатор, индекс, устойчивость, ресурсы подземных вод, загрязняющие вещества, водозабор.

SMALL-SCALE SUBDIVISION OF TECHNOGENEOUS LOADING ON THE ENVIRONMENT

A.P. Belousova, E.E. Rudenko*

Institute of Water Problems, RAS,
3, Gubkina str., 119333, Moscow, Russia; **belanna47@mail.ru*

Abstract. In the article approaches to small-scale subdivision of technogenic load on environment (OS) and groundwater as one of its components in the territory

of the Russian Federation are considered. The article consists of three sections: the first is devoted to small-scale subdivision of technogenic load on the OS – as an industrial load, emissions into atmospheric air, wastewater discharges are considered, and also some social aspects of the problem are considered – the number of people living in cities with high air pollution, for integral assessment of the negative factors influence on the OS, special dimensionless indices characterizing each factor. The second is the small-scale subdivision of the technogenic load on the fresh groundwater resources influenced by the water withdrawal from them with the aim of providing the population with drinking water; special indicators and indices of groundwater sustainability to negative impact were used to assess its influence, which allow estimating the total impact on groundwater from several negative factors. The third is the small-scale subdivision of the technogenic load on the quality of groundwater, the ecological state of groundwater at water intakes is assessed using pollution hazard indices calculated according to the proposed methodology, taking into account the MPC and the hazard class of specific pollutants. The data published in the State reports "On the state of the environment of the Russian Federation" and groundwater monitoring data published in the Information Bulletins," On the status of subsurface resources in the territory of the Russian Federation" were used for the small-scale subdivision.

Keywords. Small-scale subdivision, environment, groundwater, indicator, index, sustainability, groundwater resources, contaminants, withdrawal.

Введение

Задачей субрегионального районирования является проведение интегральной оценки многофакторного техногенного или природного негативного влияния на состояние ОС или отдельного ее компонента. Возможность интегральной оценки реализуется за счет применения специальных индикаторов и индексов, характеризующих отдельные факторы негативного воздействия на ОС, которые формируются по принципу безразмерных или размерных величин, которые на заключительном этапе оценки могут быть просуммированы.

Предложена следующая структура районирования:

– субрегиональное районирование техногенной нагрузки на окружающую среду;

– субрегиональное районирование техногенной нагрузки на ресурсы подземных вод как компонента окружающей среды;

– субрегиональное районирование техногенной нагрузки на качество подземных вод как компонента окружающей среды.

Субрегиональное районирование техногенной нагрузки на окружающую среду

Степень загрязнения окружающей среды определяется интенсивностью суммарной техногенной нагрузки на нее и отдельные её компоненты. Предварительно были созданы карты, характеризующие выбросы загрязняющих

веществ в атмосферный воздух, динамику сброса загрязнённых сточных вод в водные объекты для федеральных округов и для субъектов РФ, по данным Государственного доклада «О состоянии окружающей среды Российской Федерации в 2008 г.».

Оценка состояния окружающей среды проведена по следующей схеме (Белоусова, Руденко, 2015):

– разработка специальных индексов, характеризующих состояние атмосферного воздуха: индекс населения городов с высоким загрязнением атм. воздуха, индекс влияния транспорта на выбросы в атмосферу, индекс общего загрязнения атмосферного воздуха;

– разработка специального индекса характеризующего сбросы сточных вод в водные объекты;

– разработка индекса условного загрязнения окружающей среды;

– анализ данных о населении по субъектам РФ, проживающего в городах с высоким загрязнением атмосферного воздуха;

– анализ структуры выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (суммарный - общий), от стационарных источников загрязнения и от автотранспорта.

Самым крупным объектом (таксоном) субрегионального районирования является провинция, для Российской Федерации такими объектами являются федеральные округа.

Провинция (Федеральный округ РФ) (в скобках дан условный знак на карте рис. 1 и экспликации к ней): *Степень загрязнения окружающей среды* (2^a-1^c): первый знак обозначает выбросы в атмосферный воздух; второй знак – сбросы сточных вод (табл. 1):

<u>Выбросы в атмосферный воздух</u>:

– >6000 тыс. т – очень сильная техногенная нагрузка (условный знак: 1^a);

– 3000-6000 тыс. т – сильная техногенная нагрузка (условный знак: 2^a);

– <3000 тыс. т – средняя техногенная нагрузка (условный знак: 3^a).

<u>Сбросы сточных вод</u>:

>2000 млн. $м^3$ – очень сильная техногенная нагрузка (условный знак: 1^c);

– 1000-2000 млн. $м^3$ – сильная техногенная нагрузка (условный знак: 2^c);

– <1000 млн. $м^3$ – средняя техногенная нагрузка (условный знак: 3^c).

Вторым по величине объектом районирования являются подпровинции – субъекты РФ.

Подпровинция (области – субъекты РФ):

Степень загрязнения окружающей среды (IV^a-V^c): первый знак – выбросы в атмосферный воздух; второй знак – сбросы сточных вод:

<u>Выбросы в атмосферный воздух</u>:

– >2000 тыс. т – чрезвычайно сильная техногенная нагрузка (условный знак: I^a);

– 1000-2000 тыс. т – очень сильная техногенная нагрузка (условный знак: II^a);

– 500-1000 тыс. т – сильная техногенная нагрузка (условный знак: III^a);

– 100-500 тыс. т – средняя техногенная нагрузка (условный знак: IV^a);

– <100 – слабая техногенная нагрузка (условный знак: V^a).

Таблица 1. Экспликация к картам субрегионального районирования состояния окружающей среды в субъектах РФ (фрагмент)

Субъект Российской Федерации (его номер на карте)	**Градации субрегионального районирования**				
	Провинция	**Подпровинция**			
	Степень загрязнения ОС	**Степень загрязнения ОС**	**Эколого-социальный индекс**	**Индекс загрязнения ОС**	**Индексы условного влияния загрязнения ОС на человека**
Центральный федеральный округ (ЦФО) ($2^{а}$-$1^{с}$)					
Белгородская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$III^{н}$-$III^{г}$ -3.0	3.6 - 5.0 - 4.3	4 - 2 - 3.0 - 3
Брянская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	4.0 - 4.2 - 4.1	4 - 2 - 3.0 - 3
Владимирская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	4.0 - 4.0 - 4.0	4 - 2 - 3.0 - 3
Воронежская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$IV^{н}$-$II^{г}$ -3.0	3.6 - 4.0 - 3.8	3 - 2 - 2.5 - 3
Ивановская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	4.0 - 4.0 - 4.0	4 - 2 - 3.0 - 3
Калужская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	4.0 - 4.2 - 4.1	4 - 2 - 3.0 - 3
Костромская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$IV^{г}$ -4.0	4.0 - 4.4 - 4.2	4 - 3 - 3.5 - *4*
Курская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$II^{г}$ -3.0	4.0 - 4.8 - 4.4	4 - 2 - 3.0 - 3
Липецкая область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$IV^{н}$-$II^{г}$ -3.0	3.2 - 4.0 - 3.6	3 - 2 - 2.5 - 3
Московская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$III^{а}$-$III^{с}$	$II^{н}$-$IV^{г}$ -3.0	2.2 – 3.0 - 2.6	2 – 2 - 2.0 - ***2***
Орловская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$II^{г}$ -3.0	4.0 – 4.4 - 4.2	4 – 2 - 3.0 - 3
Рязанская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$IV^{г}$ -4.0	3.6 - 5.0 - 4.3	4 - 3 - 3.5 - *4*
Смоленская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$IV^{г}$ -4.0	4.0 - 4.2 - 4.1	4 - 3 - 3.5 - *4*
Тамбовская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	4.0 - 5.0 - 4.5	4 - 2 - 3.0 - 3
Тверская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$V^{с}$	$IV^{н}$-$III^{г}$ -3.5	3.8 - 4.2 - 4.0	4 - 2 - 3.0 - 3
Тульская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$III^{н}$-$III^{г}$ -3.0	3.6 – 3.8 - 3.7	3 – 2 – 2.5 - 3
Ярославская область	$2^{а}$-$1^{с}$	$IV^{а}$-$IV^{с}$	$IV^{н}$-$IV^{г}$ -4.0	3.8 - 3.8 - 3.8	3 - 3 - 3.0 - *4*
Город Москва	$2^{а}$-$1^{с}$	$II^{а}$-$I^{с}$	$I^{н}$-$I^{г}$ -1.0	2.0 - 1.0 - 1.5	1 - 1 - 1.0 - 1

Сбросы сточных вод:

– >1500 млн. $м^3$ – чрезвычайно сильная техногенная нагрузка (условный знак: $I^{с}$);

– 1000-1500 млн. $м^3$ – очень сильная техногенная нагрузка (условный знак: $II^{с}$);

– 500-1000 млн. $м^3$ – сильная техногенная нагрузка (условный знак: $III^{с}$);

– 100-500 млн. $м^3$ – средняя техногенная нагрузка (условный знак: IV^c);

– <100 млн. $м^3$ – слабая техногенная нагрузка (условный знак: V^c).

В дополнение к вышеприведенным характеристикам проведен анализ влияния окружающей среды на население (социальные аспекты охраны окружающей среды), проживающего в пределах выделенных областей, путем введения следующих градаций районирования:

Эколого-социальный индекс ($III^н$-$III^г$ – 3.0): первый знак – плотность населения:

$I^н$ – ≥ 1000 чел. на $км^2$; $II^н$ – 100-1000 чел. на $км^2$; $III^н$ – 50-100 чел. на $км^2$;

$IV^н$ – 10-50 чел. на $км^2$; $V^н$ – 1-10 чел. на $км^2$; $VI^н$ – 0-10 чел. на $км^2$;

второй знак – % населения городов с высоким загрязнением атмосферного воздуха: $I^г$ – 75-100%; $II^г$ – 50-75%; $III^г$ – 25-50%; $IV^г$ – 0-25%.

третий знак – средне арифметическое значение индекса [($III^н$ + $II^г$)/2 = 2.5].

Индекс загрязнения ОС (3.6 – 5.0 – 4.3): первый знак – индекс техногенной нагрузки на атмосферу:

Индекс техногенной нагрузки на атмосферу:

Анализ общих выбросов в атмосферу по данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 г.». Для этого выделенные градации техногенной нагрузки на атмосферу были проиндексированы путем выделения более узких ее интервалов, путем взвешивания каждого интервала от 0 значения до 5 единиц с шагом 0,2. Выделены следующие значения индекса общего загрязнения атмосферного воздуха:

0.2 – нагрузка 2800-3000 тыс. т, 0.4 – (2600-2800), 0.6 – (2400-2600), 0.8 – (2200-2400); 1.0 –(2000-2200), 1.2 – (1800-2000), 1.4 – (1600-1800), 1.6 – (1400-1600), 1.8 –(1200-1400), 2.0 – (1000-1200), 2.2 – (900-1000), 2.4 – (800-900), 2.6 – (700-800), 2.8 – (600-700), 3.0 – (500-600), 3.2 – (420-500), 3.4 – (340-420), 3.6 – (260-340), 3.8 – (180-2600, 4.0 – (100-180), 4.2 – (80-100), 4.4 – (60-80), 4.6 – (40-60), 4.8 – (20-40), 5.0 – (0.0-20).

Второй знак - индекс сброса сточных вод:

Аналогичным образом проведена индексация сбросов сточных вод. Выделены следующие значения индекса сбросов сточных вод в водные объекты:

0.2 – сброс 2300-2500 млн. $м^3$, 0.4 – (2100-2300), 0.6 – (1900-2100), 0.8 – (1700-1900), 1.0 –(1500-1700), 1.2 – (1420-1500), 1.4 – (1340-1420), 1.6 – (1260-1340), 1.8 – (1080), 2.0 – (1000-1080), 2.2 – (900-1000), 2.4 – (800-900), 2.6 – (700-800), 2.8 – (600-700), 3.0 – (500-600), 3.2 – (420-500), 3.4 – (340-420), 3.6 – (260-340), 3.8 – (180-260), 4.0 – (100-180), 4.2 – (80-100), 4.4 – (60-80), 4.6 – (40-60), 4.8 – (20-40), 5.0 – (0-20).

Третий знак – среднеарифметическое значение индекса [(3.6 + 5.0)/2 = 4.3)]

Индексы условного влияния загрязнения ОС на человека (4 – 2 – 3.0 – 3):

Первый знак – суммарный индекс загрязнения (техногенной нагрузки) ОС (атмосфера + сточные воды):

1 – (1-2) – очень сильное загрязнение окружающей среды;

2 – (2-3) – сильное загрязнение окружающей среды;

3 – (3-4) – среднее загрязнение окружающей среды;

4 – (4-5) – слабое загрязнение окружающей среды.

Второй знак – суммарный эколого-социальный индекс (плотность населения + % населения городов с высоким загрязнением атмосферного воздуха):

1 – (1-2.5) – очень сильно перенаселенные регионы;

2 – (3.0-3.5) – сильно перенаселенные регионы;

3 – (4.0-4.5) – средне населенные регионы;

4 – (≥5) – слабо населенные регионы .

Третий знак – среднеарифметическое значение индексов [(4 + 2)/2 = 3.0].

Четвертый знак – индекс условного влияния загрязнения ОС на человека:

1 – (0-1) – очень сильное влияние; (регион очень сильной эколого-социальной напряженности);

2 – (1-2) – сильное влияние; (регион сильной эколого-социальной напряженности);

3 – (2-3) – среднее влияние; среднее влияние (регион средней эколого-социальной напряженности);

4 – (3-4) – слабое влияние (регион слабой эколого-социальной напряженности – практически благополучный).

Рисунок 1. Карта эколого-социальной напряжённости субъектов Российской Федерации

Результаты:

К регионам очень сильной эколого-социальной напряженности в стране относится только г. Москва.

К регионам сильной эколого-социальной напряженности относятся: г. Санкт- Петербург; Краснодарский и юг Красноярского края; Республики Башкортостан и Татарстан; области Московская, Оренбургская, Свердловская, Челябинская, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская и Омская.

К регионам слабой эколого-социальной напряженности – практически благополучным относятся Республики Калмыкия, Чеченская, Марий-Эл, Алтай Саха-Якутия; области Костромская, Ярославская, Новгородская, Псковская, Амурская, Сахалинская и Магаданская; и Ненецкий А.О.

Остальные субъекты относятся к регионам средней эколого-социальной напряженности.

Субрегиональное районирование техногенной нагрузки на ресурсы подземных вод как компонента окружающей среды

Задачей настоящих исследований является установление степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке на территории Российской Федерации и отдельных её субъектов, т.е. последовательное изучение зависимости малых объектов от больших. Таким образом, для решения поставленной задачи был выбран метод субрегионального районирования устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке, водоотбору из водоносных горизонтов.

Основными характеристиками для выделения объектов районирования являются индикаторы и индексы, характеризующие степень воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке. Рассмотрим некоторые основные понятия об индикаторах устойчивости ресурсов подземных вод.

Исходные материалы для районирования: ежегодные данные мониторинга за подземными водами (Информационный бюллетень…, 2006, 2011).

Комиссией ЮНЕСКО для оценки устойчивости ресурсов подземных вод предложено использовать индикаторы с учетом специфики подходов, применяющихся в разных странах.

Устойчивость – внутренне присущая системе способность противостоять изменениям (в данном случае водоотбору из водоносных горизонтов) (Белоусова, 2001а, 2001б; Белоусова и др., 2006).

Следует принять следующие определения:

Индикатор – это атрибутивный показатель состояния окружающей среды или ее компонента: фиксирующий наличие воздействия (водоотбор, загрязнение, истощение и т. д.) на них и отклик на это воздействие;

Индекс – это количественная характеристика индикатора, описывающая степень устойчивости окружающей среды к негативному воздействию природных и антропогенных факторов и необходимые решения и меры по возвращению окружающей среды к устойчивому развитию. Индекс может выражаться простой безразмерной величиной, комплексным безразмерным параметром и многодисциплинарным соотношением.

Характеристика изменения устойчивости ресурсов подземных вод проведена по данным наблюдений за 2010 (Информационный бюллетень…, 2011). Расчеты параметров (индикаторов и индексов), характеризующих степень воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке, проводились по методике (Белоусова, 2001а, 2001б; Белоусова и др., 2006; Белоусова и др., 2013; Белоусова, Руденко, 2015).

Существует два понятия, характеризующих количественное состояние подземных вод, которые и будем использовать для оценки степени их устойчивости:

– Под ***прогнозными ресурсами*** понимается возможный максимальный отбор подземных вод при размещении водозаборных сооружений на всей площади распространения водоносных горизонтов при заданном расчетном сроке эксплуатации и величине понижения уровня.

– Под ***запасами*** подземных вод понимаются запасы, оцененные на месторождении подземных вод и их участках, прошедшие государственную экспертизу, т.е. эксплуатационные запасы представляю (Информационные бюллетени «О состоянии недр на территории Российской Федерации Федерального агентства по недропользованию).

Индикаторы и индексы количественной характеристики ресурсов подземных вод:

Индикатор воздействия (ИВ) – эксплуатация водоносных горизонтов (водопотребление, водоотбор).

Индексы – количественные характеристики водоотбора и водопотребления:

Индекс водопотребления подземных вод равен соотношению их добычи и запасов;

Индекс освоения равен соотношению степени использования подземных вод и их запасов;

Индекс потерь равен разности между единицей и соотношением степени использования подземных вод и их добычи;

Индикатор состояния (ИС) - водообеспеченность и использование ресурсов пресных подземных вод;

Индексы:

– *Индекс освоения* (перспективного водообеспечения) равен: соотношению запасов подземных и их прогнозных ресурсов;

– *Индекс существующего водообеспечения* равен: соотношение добычи подземных вод и их прогнозных ресурсов;

– *Индекс использования* равен: соотношению степени использования подземных вод и прогнозных ресурсов;

Методика субрегионального районирования территории по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке

Рассмотрим некоторые подходы к районированию степени воздействия техногенной нагрузки на ресурсы подземных вод и степени их устойчивости под воздействием этой нагрузки. Таксонометрия районирования будет формироваться от субрегионального до субъектного уровней.

Предлагаем следующие градации (таксоны) районирования (Белоусова, 2001а, 2001б; Белоусова и др., 2006; Белоусова, 2013; Белоусова, Руденко, 2015):

Провинция – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по отношению к средним показателям по Российской Федерации.

Внутри этой градации выделяются следующие:

Субпровинция (субпр) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по федеральным округам (окр) по отношению к средним показателям по Российской Федерации (РФ).

Соотношение суммарных индикаторов воздействия ($ИВ_{субпр}$ = $ИВ_{окр}$/ $ИВ_{РФ}$) находится в диапазоне 0.83 до 1.67, при этом оптимальной характеристикой является значение суммарного индикатора по РФ, все значение по округам, превышающие единицу отвечают высокой степени воздействия техногенной нагрузки, а значения меньше единицы отвечают пониженной степени воздействия (табл. 2).

Исходя из этого, предлагаем следующее ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод:

I – слабое воздействие (0.0-0.5);

II – среднее воздействие (0.5-1.0);

III – высокое воздействие (1.0-1.5);

IV – очень высокое воздействие (от 1.5 и более).

Римские цифры (жирные) – условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Соотношение суммарных индикаторов состояния ($ИС_{субпр}$ = $ИС_{окр}$/$ИС_{РФ}$) находится в диапазоне 0.33 до 5.00, при этом оптимальной характеристикой является значение суммарного индикатора по РФ, все значение по округам, превышающие единицу отвечают низкой степени устойчивости к техногенной нагрузке, а значения меньше единицы отвечают высокой степени устойчивости (табл. 2).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке:

A – очень высокая устойчивость (0.0-0.5);

B – высокая устойчивость (0.5-1.0);

C – средняя устойчивость (1.0-2.5);

D – слабая устойчивость (2.5-5.0).

Большие буквы латинского алфавита - условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Надпровинция (надпр) - характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации (суб) по отношению к средним показателям по Российской Федерации ($ИВ_{надпр}$ = $ИВ_{суб}$/$ИВ_{РФ}$).

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{надпр}$ = $ИВ_{суб}$/ $ИВ_{субпр}$):

I – слабое воздействие (0.0-1.0);

II – среднее воздействие (1.0-2.5);

III – высокое воздействие (2.5-5.0);

IV – очень высокое воздействие (более 5.0).

Таблица 2. Экспликация к карте субрегионального районирования территории России по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенному воздействию (2010 год) - фрагмент

Объект районирования (его номер на карте)	Провинция						Область		Район	
	Субпровинция		Надпровинция		Подпровинция					
	И	Н	Д	И	К	А	Т	О	Р	Ы
	ИВ субпр	ИС субпр	ИВ надпр	ИС надпр	ИВ подпр	ИС подпр	ИВ обл	ИС обл	ИВ рн	ИС рн
РФ	0.24	0.06								
ЦФО			0.22	0.20						
Белгородская			2.21	2.67	2.41	0.8	0.58	0.05	0.53	0.16
Брянская			1.33	1.67	1.45	0.5	0.35	0.03	0.32	0.1
Владимирская			1.75	4.33	1.91	1.3	0.46	0.08	0.42	0.26
Воронежская			1.75	4.50	1.91	1.35	0.46	0.08	0.42	0.27
Ивановская			1.04	2.17	1.14	0.65	0.27	0.04	0.25	0.13
Калужская			1.75	3.67	1.91	1.1	0.46	0.07	0.42	0.22
Костромская			0.92	2.33	1.0	0.7	0.24	0.04	0.22	0.14
Курская			1.63	3.17	1.77	0.95	0.42	0.06	0.39	0.19
Липецкая			2.13	3.00	2.32	0.9	0.55	0.05	0.51	0.18
Московская и г. Москва			1.21	11.87	1.32	3.55	0.32	0.21	0.29	0.71
Орловская			1.58	1.83	1.73	0.55	0.41	0.03	0.38	0.11
Рязанская			1.67	1.33	1.82	0.4	0.43	0.02	0.4	0.08
Смоленская			1.63	1.17	1.77	0.35	0.42	0.02	0.39	0.07
Тамбовская			1.58	1.33	1.73	0.4	0.41	0.02	0.38	0.08
Тверская			1.75	1.50	1.91	0.45	0.46	0.03	0.42	0.09
Тульская			1.96	2.67	2.14	0.8	0.51	0.05	0.47	0.16
Ярославская			0.75	3.83	0.82	1.15	0.2	0.07	0.18	0.23

Римские цифры – условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{надпр} = ИС_{суб} / ИС_{субпр}$):

a – очень высокая устойчивость (0.0-1.0);

b – высокая устойчивость (1.0-5.0);

c – средняя устойчивость (5.0-10.0);

d – слабая устойчивость (более 10.0).

Маленькие буквы латинского алфавита - условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним (табл. 2).

Подпровинция (подпр) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации по отношению к средним показателям по федеральным округам к средним по Российской Федерации, т.е. к индексу по субпровинции.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{подпр} = ИВ_{суб}/ ИВ_{субпр}$):

I – слабое воздействие (0.0-1.0);

II – среднее воздействие (1.0-2.5);

III – высокое воздействие (2.5-5.0);

IV – очень высокое воздействие (более 5.0).

Римские цифры (курсив) – условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним (табл. 2).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{подпр} = ИС_{суб} / ИС_{субпр}$):

a – очень высокая устойчивость (0.0-1.0);

b – высокая устойчивость (1.0-5.0);

c – средняя устойчивость (5.0-10.0);

d – слабая устойчивость (более 10.0).

Маленькие буквы (курсив) латинского алфавита - условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним (табл. 2).

Область (обл) - характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации по отношению к средним показателям по федеральным округам.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{обл} = ИВ_{суб}/ИВ_{окр}$):

1 – слабое воздействие (0.00-0.25);

2 – среднее воздействие (0.25-0.50);

3 – высокое воздействие (0.50-0.75);

4 – очень высокое воздействие (0.75-1.00);

5 – чрезвычайно высокое (более 1.00).

Арабские цифры – условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{обл} = ИС_{суб}/ИС_{окр}$):

a – очень высокая устойчивость (0.00-0.25);

б – высокая устойчивость (0.25-0.50);

в – средняя устойчивость (0.50-0.75);

г – слабая устойчивость (0.75-1.00);

д – чрезвычайно слабая (более 1.00).

Маленькие буквы русского алфавита - условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Район (рн)- характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод среди субъектов РФ.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{рн} = ИВ_{суб}$):

1 – слабое воздействие (0.00-0.25);

2 – среднее воздействие (0.25-0.50);

3 – высокое воздействие (0.50-0.75);

4 – очень высокое воздействие (0.75-1.00);

5 – чрезвычайно высокое (более 1.00).

Арабские цифры (курсив) – условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним.

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{рн} = ИС_{суб}$):

а – очень высокая устойчивость (0.00-0.25);

б – высокая устойчивость (0.25-0.50);

в – средняя устойчивость (0.50-0.75);

г – слабая устойчивость (0.75-1.00);

д – чрезвычайно слабая (более 1.00).

Маленькие буквы русского алфавита (курсив) - условные знаки на картах районирования и экспликациям к ним (табл. 2).

Следует отметить, что здесь и далее названия степеней воздействия и устойчивости к этому воздействию ресурсов подземных вод даны в авторском представлении и могут быть изменены, но главным являются количественные оценки индикаторов воздействия и состояния и приведенные здесь интервалы значений индикаторов.

Таким образом, завершающим объектом субрегионального районирования будет являться субъект РФ. На карте субрегионального районирования и в экспликации к ней субъект РФ будет иметь, например субъект *Московская область и г. Москва* будет иметь следующее обозначение (код): [(**II** – D) (II – d) (*II – b*)] [2 – a] [*2 – в*]. Расшифровка этого кода следующая: в первой квадратной скобке приведена характеристика **провинции**, внутри этой скобки в первой круглой скобке дана характеристика ***субпровинции***: рассматриваемый субъект находится в ЦФО, который характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и слабой степенью их устойчивости к этой нагрузки по сравнению со средними показателями по РФ; во второй круглой скобке дана характеристика ***надпровинции***: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и слабой степенью их устойчивости к этой нагрузки по сравнению со средними показателями по РФ; в третьей круглой скобке дана характеристика ***подпро-***

винции: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и высокой степенью их устойчивости к этой нагрузки по сравнению по федеральному округу и РФ; во второй квадратной скобке дана характеристика **области**: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и очень высокой степенью их устойчивости к этой нагрузки по сравнению со средними показателями по ФО; в третьей квадратной скобке дана характеристика **района**: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и средней степенью их устойчивости к этой нагрузки по сравнению с другими субъектами РФ.

Как видно из приведенной характеристики конкретного субъекта РФ, в результате субрегионального районирования имеем детальное описание этого субъекта, начиная с места его приписки к отдельному ФО, месту этого округа на территории страны, затем на самого субъекта относительно территории страны территории, затем его место относительно ФО и в заключении – его места среди всех субъектов РФ. Рассматривая ситуацию с влиянием техногенной нагрузки на подземные воды, начиная от «большого» – в целом по стране и завершая «малым» – конкретным субъектом, можем более детально оценить эту ситуации с целью разработки дальнейших рекомендации по принятию мер, способствующих достижению устойчивости ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке.

Таким образом, четко прослеживается иерархическое положение каждого субъекта РФ относительно к Российской Федерации и конкретного федерального округа, к которому относится субъект, по степени воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к этому воздействию.

Следующим шагом субрегионального районирования должно быть построение комплекта карт, пять из которого характеризовали бы степень техногенной нагрузки на ресурсы подземных вод, а пять других – степень устойчивости (состояния) ресурсов к этой нагрузке, либо можно построение двух карт, одну по степени воздействия, другую по степени устойчивости, при этом каждая из них состояла бы из пяти слоев, что сделало бы эти карты нечитаемыми.

Поэтому предлагаем другой способ отображения результатов субрегионального районирования ресурсов подземных вод:

1. Определяем базовые индикаторы:

– суммарные индикаторы воздействия и состояния для субпровинции;

– суммарные индикаторы воздействия и состояния для всех субъектов РФ (районов);

2. Рассчитываем значения индикаторов воздействия и состояния для надпровинции и подпровинции и области (табл. 2).

3. Устанавливаем коды районирования для каждого объекта (таксона) районирования от субпровинции до района (табл. 2). Для этого используем условные знаки для выделения таксонов районирования, выше приведенные в методической части работы.

4. Определяем степени воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод для каждого объекта районирования (табл. 2). Для этого используется

приведенные в методической части работы критерии установления степеней воздействия и устойчивости подземных вод для отдельных объектов (таксонов) районирования.

5. Определяем суммарные субрегиональные индикаторы воздействия и устойчивости (состояния). Для этого вводим весовые значения каждого выделенного индикатора объекта субрегионального районирования от субпровинции до района, значения весов приведены в табл. 3. Затем рассчитываем отдельно суммарные субрегиональные индикаторы воздействия и устойчивости по кодам каждого субъекта, значения индикаторов приведены в табл. 2.

6. Определяем интегральный субрегиональный индикатор благоприятности состояния ресурсов подземных в каждом субъекте РФ путем сложения суммарных субрегиональных индикаторов воздействия и устойчивости по кодам субъектов, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 3. Весовые значения индикаторов;

$ИВ_{субпр}$	$ИС_{субпр}$	$ИВ_{надпр}$	$ИС_{надпр}$	$ИВ_{подпр}$	$ИС_{подпр}$	$ИВ_{обл}$	$ИС_{обл}$	$ИВ_{рн}$	$ИС_{рн}$
I (1)	A…(1)	I…(1)	a (1)	I (1)	*a* (1)	1 (1)	а (1)	*1*(1)	*а*(1)
II (2)	B (2)	II (2)	b…(2)	*II* (2)	*b* (2)	2 (2)	б (2)	*2*(2)	*б*(2)
III (3)	C (3)	III (3)	c (3)	*III (3)*	*c* (3)	3 (3)	в (3)	*3*(3)	*в*(3)
IV (4)	D (4)	IV (4)	d (4)	*IV* (4)	*d* (4)	4 (4)	г (4)	*4*(4)	*г*(4)
						5 (5)	д (5)	*5*(5)	*д*(5)

Примечание. Первая цифра или буква – условное обозначение степени воздействия или состояния, вторая цифра в скобке – весовое значение индикатора

7. Устанавливаем степень суммарного воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенному воздействию и в зависимости от этого устанавливаем степень благоприятности состояния ресурсов подземных вод в каждом субъекте:

Суммарная степень воздействия:

1 – 0.0-0.5 – слабое воздействие;

2 – 0.6-10.0 – среднее воздействие;

3 – 11.0-15.0 – высокое воздействие;

4 – 16.0-20.0 – очень высокое воздействие.

Суммарная степень устойчивости (состояния):

1 – 0.0-0.5 – очень высокая устойчивость;

2 – 0.6-10.0 – высокая устойчивость;

3 – 11.0-15.0 – средняя устойчивость;

4 – 16.0-20.0 – слабая устойчивость.

Степень благоприятности состояния:

1 – 0.0-15.0 – высоко благоприятное состояние;

2 – 16.0-20.0 – благоприятное состояние;

3 – 21.0-25.0 – средне благоприятное;

4 – 26.0-30.0 – слабо благоприятное;

5 – более 30.0 – неблагоприятное.

Полученные таким образом характеристики показаны на итоговой карте субрегионального районирования ресурсов подземных вод на территории Российской Федерации (рис. 2).

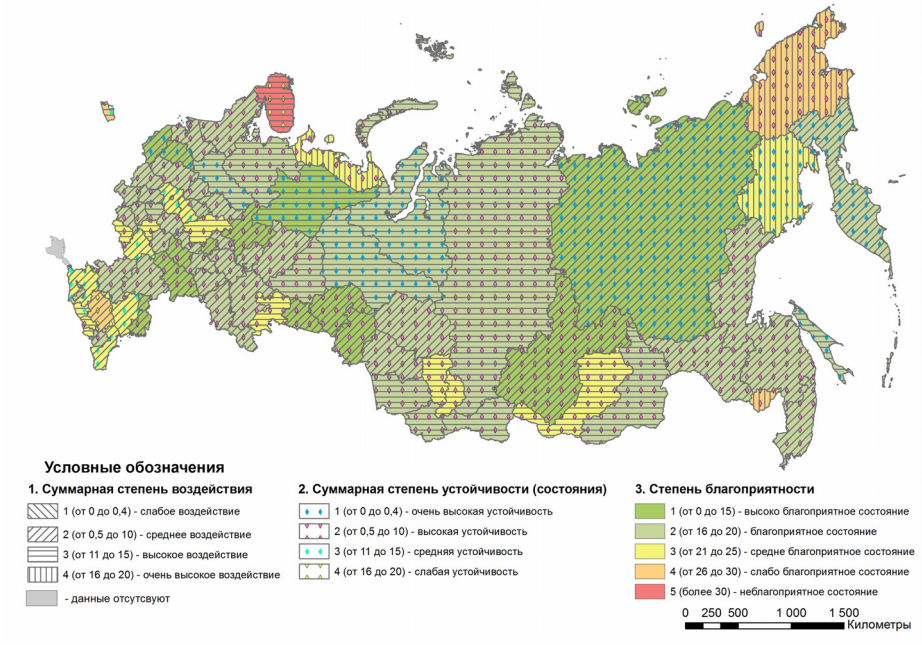

Рисунок 2. Карта субрегионального районирования РФ по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке

По суммарной степени воздействия (табл. 2. 4) на карте выделено (рис. 2): 53 субъекта РФ со средней степенью воздействия, 26 – с высокой и 4 с очень высокой степенью воздействия. По суммарной степени устойчивости выделено: 10 субъектов РФ с очень высокой степенью устойчивости, 62 с высокой , 9 со средней и 2 со слабой степенью устойчивости.

Итоговой (интегральной) характеристикой на карте субрегионального районирования (рис. 2) является степень благоприятности состояния ресурсов подземных вод (табл. 4) по субъектам РФ.

Результаты:

Высоко благоприятным состоянием ресурсов подземных вод характеризуются 13 субъектов: Новгородская, Псковская, Астраханская, Кировская, Пензенская, Саратовская, Курганская, Тюменская, Иркутская, Омская области, Республики Коми, Чувашия, Якутия (Саха).

Благоприятным состоянием характеризуются 46 субъектов РФ: Архангельская, Вологодская, Ленинградская обл. и г. С-Петербург, Брянская, Ивановская, Калужская, Костромская, Курская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Ульяновская, Ярославская, Волгоградская, Ростовская, Оренбургская, Самарская, Свердловская, Новосибирская, Амурская, Сахалинская области; Республики Карелия, Адыгея, Ингушетия, Башкортоста,

Таблица 4. Итоговые результаты субрегионального районирования (продолжение экспликации - фрагмент)

Итоговые результаты субрегионального районирования							
Субъект (его номер на карте)	**Код районирования субъекта**	**Суммарный, субрегион. индикатор воздействия**	**Степень воздействия**	**Суммарный, субрегион. индикатор состояния**	**Степень устойчивости (состояния)**	**Интегральный субрегион. индикатор**	**Степень благоприятности**
РФ							
ЦФО	[(**II**-D)]						
Белгородская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [3-а] [*3-а*]	12	3	9	*2*	21	**3**
Брянская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Владимирская	[(**II**-D) (II-b) (*II-b*)] [2-а] [*2-б*]	10	2	11	*3*	21	**3**
Воронежская	[(**II**-D) (II-b) (*II-b*)] [2-а] [*2-б*]	10	2	11	*3*	21	**3**
Ивановская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Калужская	[(**II**-D) (II-b) (*II-b*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	10	*2*	20	**2**
Костромская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [1-а] [*1-а*]	7	2	9	*2*	16	**2**
Курская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Липецкая	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [3-а] [*3-а*]	12	3	9	*2*	21	**3**
Московская и г. Москва	[(**II**-D) (II-d) (*II-а*)] [2-а] [*2-в*]	10	2	14	*3*	24	**3**
Орловская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Рязанская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Смоленская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Тамбовская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Тверская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [2-а] [*2-а*]	10	2	9	*2*	19	**2**
Тульская	[(**II**-D) (II-b) (*II-а*)] [3-а] [*2-а*]	11	3	9	*2*	20	**2**
Ярославская	[(**II**-D) (I-b) (*II-b*)] [1-а] [*1-а*]	6	2	10	*2*	16	**2**

Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртия, Алтай, Бурятия, Тыва, Чечня, Пермский, Алтайский, Красноярский, Камчатский, Приморский, Хабаровский края; автономные округа Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий.

Средне благоприятным характеризуются 19 субъектов РФ: Белгородская, Владимирская, Воронежская, Липецкая, Московская обл. и г. Москва, Нижегородская, Челябинская, Кемеровская, Магаданская области; Республики Калмыкия, Дагестан, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия, Северная Осетия-Алания, Хакасия; Краснодарский и Забайкальский края; Ненецкий АО.

Слабо благоприятное состояние отмечено в 4 субъектах РФ: Калининградская область, Ставропольский край, Еврейский и Чукотский АО.

Один субъект РФ – Мурманская область отличается неблагоприятным состоянием ресурсов подземных вод в условиях антропогенного на них воздействия.

В результате субрегионального районирования получаем комплексную характеристику состояния и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке (водоотбору из водоносных горизонтов) на территории отдельных субъектов РФ по отношению к этим же условиям в целом на территории Российской Федерации и федеральных округов, к которым принадлежат эти субъекты.

Это позволит выделить проблемные субъекты РФ, на которых необходимо проводить дополнительные исследования по установлению причин сложившейся ситуации. Причинами могут быть как недостатки в оценке ресурсов и запасов подземных вод в отдельных регионах, так и нарушения проектных режимов эксплуатации месторождений и отдельных водозаборов пресных подземных вод (переэксплуатация) и др.

Субрегиональное районирование техногенной нагрузки на качество подземных вод как компонента окружающей среды

Опасность для загрязнения подземных вод представляют загрязняющие вещества, находящиеся в атмосферном воздухе, почвах, поверхностных водах и растительности. Для региональных оценок учесть все виды и источники загрязнения подземных вод практически невозможно, поэтому для данного масштаба исследований использованы данные мониторинга за подземными водами, показатели качества которых определяются значениями фоновых или предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ЗВ).

В нормативных документах качество питьевой воды оценивается по ПДК, а также по классу опасности веществ. Для дальнейших оценок опасности загрязнения подземных вод с использованием системы ПДК и с учетом класса опасности загрязняющих веществ, предлагается следующий способ суммирования этих двух показателей загрязнения.

Следует иметь в виду, что задачей исследований является не только изучение реального загрязнения подземных вод (ПВ), но и оценка опасности (возможности) их загрязнения от накопленных в других компонентах окружающей среды загрязнений. При этом опасность как потенциальное

загрязнение должна быть несколько усилена по отношению к существующему загрязнению и особенно это касается тех ингредиентов, ПДК которых имеют наименьшие значения и которые могут нанести наибольший вред здоровью человека и окружающей среде.

Для оценки опасности загрязнения подземных вод был введен весовой коэффициент для каждого загрязняющего вещества с учетом его ПДК и класса опасности:

Все загрязняющие вещества были разделены на 3 группы по значению ПДК в питьевой воде по следующим диапазонам (Белоусова, 2001а; Белоусова, Руденко, 2016):

I группа (категория) – химические элементы, содержание которых в ПВ не может превышать 1.0 мг $л^{-1}$;

II группа – химические элементы, содержание которых в ПВ изменяется от 1.0 мг $л^{-1}$ до 10.0 мг $л^{-1}$;

III группа – химические элементы, содержание которых в подземных водах может превышать 10.0 мг $л^{-1}$.

В **I группу** загрязняющих веществ входит большинство нормируемых химических элементов. Эта группа была разделена на три подгруппы ЗВ:

Подгруппа Iа. ПДК = 0.1 ÷ 1.0 мг $л^{-1}$;

Подгруппа I б. ПДК = 0.001 ÷ 0.1 мг $л^{-1}$;

Подгруппа I в. ПДК < 0.001 мг $л^{-1}$.

Каждой группе и подгруппе присваивался класс токсичности (загрязнения): III группа – 5, II группа – 4; и для подгруппы Iа – 3, Iб –2, Iв – 1.

По принадлежности данного загрязняющего вещества к определенному классу токсичности по ПДК и классу опасности устанавливался весовой коэффициент, значения которого приведены в табл. 5.

Таблица 5. Значения весовых коэффициентов (k_{wj}) загрязняющих веществ

Вес группы загрязняющих веществ (группа)	**Класс опасности загрязняющих веществ (вес)**			
	1 (4)	**2 (3)**	**3 (2)**	**4 (1)**
5 (Iв)	4.5	4.0	3,5	3.0
4 (Iб)	4.0	3.5	3.0	2.5
3 (Iа)	3.5	3.0	2.5	2.0
2 (II)	3.0	2.5	2.0	1.5
1 (III)	2.5	2.0	1.5	1.0

Для мелкомасштабной оценки степени загрязнения подземных вод на территории использовался ограниченный перечень критериев этой оценки.

Во-первых, использовались данные наблюдений за качеством подземных вод (Информационный Бюллетень, 2015) на водозаборах, т.е. анализировались данные уже имеющегося загрязнения подземных вод.

Во-вторых, степень загрязнения оценивалась **индексом загрязнения** (для отдельных групп и подгрупп ЗВ и суммарным индексом для всех перечислен-

ных подразделений ЗВ). Индекс рассчитывался как сумма ПДК в каждой группе веществ и по общей сумме (такой простой способ формирования индекса связан с тем, что в воде, как правило, присутствует небольшое количество ЗВ и в ряде случае их ПДК отличаются по значениям на два порядка, число их не превышает двух, что в случае деления их суммы на два получается искажение экологической ситуации до сильного ее улучшения).

В-третьих, опасность загрязнения оценивалась не по отношению к подземным водам, а наоборот опасность другим компонентам окружающей среды и населению от загрязненных подземных вод. Индекс опасности загрязнения подземными водами также определялся для каждой группы и подгруппы загрязняющих веществ и суммарным индексом для всех групп загрязняющих веществ.

Опасность загрязнения подземных вод оценивалась по вышеприведенным группам загрязняющих веществ. Оценка опасности загрязнения проводится с использованием **индексов опасности загрязнения** как одной из характеристик устойчивости подземных вод к негативному воздействию, для чего и предлагается соответствующий индекс. Для каждой группы загрязняющих веществ рассчитывался групповой индекс опасности загрязнения (I_g) по предложенному нами выражению (Белоусова, Руденко, 2016):

$$I_g = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\overline{C_i}_{\ j}\, k_{wj})}{n},$$

где $\overline{C}_i = C_i$ /ПДК ; C_i – концентрация i-го загрязняющего вещества в подземных водах, n – количество загрязняющих веществ в j-той группе, k_{wj} – весовой коэффициент опасности для каждой группы загрязняющих веществ (табл. 5).

Групповой индекс является величиной безразмерной и объединяет загрязняющие вещества только одной из пяти групп, что позволяет анализировать загрязняющие вещества, ПДК которых изменяются в диапазоне одного порядка величин и могут характеризоваться одним уровнем опасности загрязнения подземных вод как компонента окружающей среды.

Данные по распределению загрязнённых водозаборов на территории Российской Федерации отражены на картах для каждой группы загрязняющих веществ, в статье приводится карта для одной группы (Ia) – рис. 3.

Характеристика степени загрязнения и опасности загрязнения подземных вод

Индексы загрязнения и индексы опасности загрязнения представлены в единицах ПДК, поэтому в дальнейшем проводилась суммарная оценка этих индексов для каждого водозабора.

Для оценки степени загрязнения подземных вод по суммарному индексу загрязнения и опасности от загрязненных подземных вод по суммарному индексу опасности были введены следующие категории оценок:

1) 1-5 – слабо загрязненные и слабо опасные;
2) 5-10 – загрязненные и опасные;
3) 10-25 – средне загрязненные и средне опасные;
4) 25-50 – сильно загрязненные и сильно опасные;
5) 50-100 – очень сильно загрязненные и очень сильно опасные;
6) > 100 чрезвычайно загрязненные и чрезвычайно опасные.

Рисунок 3. Загрязнение скважин питьевого водоснабжения веществами группы 1а (ПДК 0.1-1.0 мг $л^{-1}$)

Индекс загрязнения: 1– слабо загрязненные и слабо опасные; 2– загрязненные и опасные; 3 – средне загрязненные и средне опасные; 4 – сильно загрязненные и сильно опасные; 5 – очень сильно загрязненные и очень сильно опасные; 6 - чрезвычайно загрязненные и чрезвычайно опасные.

В 2005 году по ***степени загрязнения*** водозаборы распределились следующим образом: к категории 1 отнесены 67 водозаборов; к 2 – 21; к 3 – 22; к 4 – 12; к 5 – 2, к 6 – 4 водозабора. По ***степени опасности*** к 1 категории отнесены 46 водозаборов, к 2 – 20, к 3 – 26, к 4 – 17, к 5 – 9, к 6 – 6.

В 2010 году водозаборы по степени загрязнения и опасности загрязнения распределились несколько иначе, данные приведены в табл. 6.

Результаты:

Следует отметить следующее:

– количество наблюдаемых водозаборов увеличилось от 126 в 2005 году до 176 в 2010 году;

– большинство водозаборов в эти два срока характеризуются слабой степенью загрязнения;

– от 20 до 30 водозаборов в эти же сроки характеризуются как загрязненные

ные и средне загрязненные и только незначительное количество водозаборов характеризуются сильной и очень сильной степенью загрязнения и только один водозабор относится к чрезвычайной степени загрязнения (2010 г);

– среди загрязняющих веществ в большинстве водозаборов преобладающими являются вещества II и III групп (2010 г.);

– по степени опасности загрязнения наблюдается незначительное смещение количества водозаборов в сторону увеличения степени опасности загрязнения по отношению к степени загрязнения.

Таблица 6. Характеристика водозаборов по степени загрязнения и опасности загрязнения подземных вод в 2010 году

Степень загрязнения и степень опасности загрязнения (категория)	Количество водозаборов по: индексу загрязнения/индексу опасности загрязнения (по группам и подгруппам ЗВ)					Количество водозаборов по суммарному индексу загрязнения
	Iв	Iб	Iа	II	III	
1 (слабая)	8/3	6/1	36/17	66/53	62/53	105
2(загрязненная)	1/4	3/4	14/25	2/15	2/10	25
3 (средняя)	4/3	3/3	23/23	1/1	-/1	30
4 (сильная)	1/1	1/2	6/11	-	-	8
5 (очень сильная)	1/4	-/3	6/6	-	-	7
6 (чрезвычайная)	-/1	-	-/3	-	-	1
Всего водозаборов	15	13	95	69	64	176

Список литературы

Белоусова А.П. 2001а. Качество подземных вод: современные подходы к оценке. – М., Наука, 339 с.

Белоусова А.П. 2001б. Индикаторы и индексы устойчивого развития подземной гидросферы. – Экология и промышленность России, № 3, с. 36-37.

Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. 2006. Экологическая гидрогеология. – Учебник для ВУЗов, М., ИКЦ «Академкнига», 397 с.

Белоусова А.П., Антонов К.А., Кирьякова Е.А. 2013. Динамика устойчивости ресурсов подземных вод России при антропогенном воздействии за период наблюдений 2005-2010 годы. – Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, № 11, с. 56-72.

Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2015. Методика субрегионального районирования территории по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке. – Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, № 1, с. 12-26.

Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2015. Методика разномасштабного районирования техногенной нагрузки на окружающую среду и подземные воды. – Вода: химия и экология, № 2, с. 3-10.

Белоусова А.П., Руденко Е.Э. 2016. Подходы к оценке защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению при исследованиях различного масштаба. – Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, № 8, с. 50-63.

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 г». 2009. – МПР РФ, 501 с.

Информационный Бюллетень о состоянии недр на территории РФ в 2005 г. 2006. – М., Федеральное агентство по недропользованию, вып. 29, ФГУГП «Гидроспецгеология», Геоинформмарк, 276 с.

Информационный Бюллетень о состоянии недр на территории РФ в 2010 г. 2011. – М., Федеральное агентство по недропользованию, вып. 34, ФГУГП «Гидроспецгеология». Геоинформмарк, 208 с.

Информационный Бюллетень о состоянии недр на территории РФ в 2014 г. 2015. – М., Федеральное агентство по недропользованию, вып. 38, ФГУГП «Гидроспецгеология». Геоинформмарк, 236 с.

References

Belousova A.P. 2001a. *Kachestvo podzemnyh vod: sovremennye podhody k ocenke* [Groundwater quality: modern approaches to evaluation]. Moscow, Science Publ., 339 p.

Belousova A.P. 2001b. Indikatory i indeksy ustojchivogo razvitija podzemnoj gidrosfery [Indicators and indices of sustainable development of the underground hydrosphere]. *Ekologiia i promyshlennost' Rossii – Ecology and industry of Russia*, no. 3, pp. 36-37.

Belousova A.P., Gavich I.K., Lisenkov A.B., Popov E.V. 2006. *Jekologicheskaja gidrogeologija* [Ecological hydrogeology]. Uchebnik dlja VUZov [Textbook for High Schools]. Moscow, IKTs «Akademkniga» Publ., 397 p.

Belousova A.P., Antonov K.A., Kir'jakova E.A. 2013. Dinamika ustojchivosti resursov podzemnyh vod Rossii pri antropogennom vozdejstvii za period nabljudenij 2005-2010 gody [Dynamics of the sustainability of groundwater resources in Russia under anthropogenic impact for the period of observations 2005-2010]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie – Water treatment. Water treatment. Water supply*, no. 11, pp. 56-72.

Belousova A.P., Rudenko E.Je. 2015. Metodika subregional'nogo rajonirovanija territorii po stepeni ustojchivosti resursov podzemnyh vod k antropogennoj nagruzke [The methodology of small-scale subdivision of the territory by the degree of sustainability of groundwater resources to anthropogenic load]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie – Water treatment. Water treatment. Water supply*, no. 1, pp. 12-26.

Belousova A.P., Rudenko E.Je. 2015. Metodika raznomasshtabnogo rajonirovanija tehnogennoj nagruzki na okruzhajushhuju sredu i podzemnye vody

[Technique of a different-scale subdivision of anthropogenic load on the environment and groundwater]. *Voda: himija i jekologija – Water: chemistry and ecology*, no. 2, pp. 3-10.

Belousova A.P., Rudenko E.Je. 2016. Podhody k ocenke zashhishhennosti i ujazvimosti podzemnyh vod k zagrjazneniju pri issledovanijah razlichnogo masshtaba [Approaches to assessing the protectobility and vulnerability of groundwater to pollution during research of various scales]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie – Water treatment. Water treatment. Water supply*, no. 8, pp. 50-63.

Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2008 g» [State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2008"]. 2009. Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation Publ., 501 p.

Informacionnyj Bjulleten' o sostojanii nedr na territorii RF v 2005 g [Information Bulletin on the status of mineral resources subsoil in the territory of the Russian Federation in 2005]. 2006. Moscow, Federal Agency for Subsoil Use, "Hydrospetsgeology", Geoinformmark Publ. , vol. 29, 276 p.

Informacionnyj Bjulleten' o sostojanii nedr na territorii RF v 2010 g [Informational Bulletin on the status of mineral resources in the territory of the Russian Federation in 2010]. 2011. Moscow, Federal Agency for Subsoil Use, "Hydrospetsgeology", Geoinformmark Publ., vol. 34, 208 p.

Informacionnyj Bjulleten' o sostojanii nedr na territorii RF v 2014 g [Information Bulletin on the status of mineral resources in the territory of the Russian Federation in 2014]. 2015. Moscow, Federal Agency for Subsoil Use, "Hydrospetsgeology", Geoinformmark Publ., vol. 38, 236 p.

Статья поступила в редакцию: 26.04.2017 г. *После переработки: 25.05.2017 г*