

Пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 год

©2022 Н. Н Ткаченко¹, И. И. Косинова², Д. А. Белозеров^{✉ 2}, В. А. Бударина², Ф. Н. Лисецкий³

¹Региональное отделение Общероссийской общественной организации по охране и защите природных ресурсов «Российское экологическое общество» по Липецкой области

Улица А.Г. Стаханова, д. 57, помещ. 1 офис 2, 398004, Липецк, Липецкая область, РФ

²Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, РФ

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»

Улица Победы, 85, 308000, г. Белгород, Белгородская область, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Целью данного исследования является пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 год. Актуальность исследований связана со значительным уровнем и площадью загрязнения, которые обусловлены комплексным техногенным воздействием. Результатом формирования эколого-гидрогеохимической аномалии стало закрытие ряда водозаборов г. Липецка.

Методика: Пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 год производился по 23 наблюдательным пунктам (водозаборам). Временной промежуток наблюдения за качеством подземных вод связан с периодом формирования основного поля эколого-гидрогеохимической аномалии: с 2001 по 2019 года. При этом, для сравнения были использованы данные 2001, 2005, 2015 и 2016–2019 гг. Использовались временные интервалы с максимальным количеством данных. Производился анализ содержания нитратов, как по площади, так и по времени. Для анализа загрязнения по площади были построены схемы содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса. Временные закономерности отражены на диаграммах минимальных и максимальных концентраций нитратов за каждый временной интервал, представлены диаграммы среднего уровня загрязнения подземных вод, рассчитан процент скважин с превышением концентрации нитратов. Выявление «очагов» загрязнения производилось путем статистической обработки данных химического анализа подземных вод во всех скважинах. Статистический анализ включал в себя: расчет средних концентраций нитратов за период наблюдений и для каждой скважины, расчет среднеквадратического отклонения, выявление наибольших концентраций загрязняющих веществ, для каждого временного интервала, выявление концентраций нитратов в скважинах, превышающих среднеквадратическое отклонение.

Результаты и обсуждение: В результате проведенных исследований были получены экологические характеристики загрязнения подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса нитратами с 2001 по 2019 гг. Оцениваемая площадь составила около 500 км². Эколо-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License .

✉ Белозеров Денис Александрович, e-mail: belozerovdenis@yandex.ru

гическая оценка состояния подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса – умеренно опасное. Его площадь составляет 255,37–402,73 км². Направление распространения загрязнения подземных вод нитратами – юго-западное. Концентрации нитратов за весь исследуемый период варьируют от 16,4 мг/дм³ (0,36 ПДК) до 186,10 мг/дм³ (4,14 ПДК). Средние по годам концентрации нитратов в подземных водах изменяются от 52,66 мг/дм³ (1,17 ПДК) до 72,15 мг/дм³ (1,60 ПДК). Местонахождение основных «очагов» загрязнения подземных вод нитратами: д. Тужиловка, Новой Деревни, микрорайона Северная Шахта (Рудник), д. Копцевы Хутора. Основные источники загрязнения подземных вод нитратами правобережной части Липецкого промрайона: птицефабрика, пометохранилище, комплексы КРС, земельные участки орошения, предприятие химической промышленности

Заключение: По результатам проведенных исследований был произведен пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 гг. Выявлены основные характеристики загрязнения подземных вод изучаемой территории. Предложены комплексы природоохранных мероприятий: ликвидация или переоборудование существующих источников негативного воздействия, в том числе ликвидация накопленного вреда окружающей среде; учет защищенности подземных вод при размещении потенциально опасных объектов; экранизации территории в районах очагов загрязнений подземных вод нитратами; модернизация систем водоочистки, а также утилизации и размещения отходов.

Ключевые слова: подземные воды, водоносный задонско-оптуховский карбонатный комплекс, загрязнение, нитраты, качество подземных вод, пространственно-временной анализ, природоохранные мероприятия.

Для цитирования: Н. Н. Ткаченко, И. И. Косинова, Д. А. Белозеров В. А. Бударина, Ф. Н. Лисецкий. Пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 год // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2022. № 4. С. 94–107. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/94-107>

Введение

Эколого-гидрогеологические проблемы качества подземных вод в настоящий момент являются одними из самых значимых в мире. Россия обладает огромными запасами подземных и поверхностных пресных вод, однако качество воды часто не удовлетворяет санитарно-эпидемиологическим требованиям. Несмотря на значительные запасы подземных вод, население России вынуждено покупать воду. Центральный федеральный округ является самым густонаселенным районом России, что обуславливает наличие значительных эколого-гидрогеологических аномалий [1–3]. Так, с конца прошлого века, на территории правобережья реки Воронеж в районе города Липецк сформировался очаг нитратного загрязнения подземных вод.

В этой связи, эколого-гидрогеологическая оценка качества подземных вод правобережной части Липецкого промышленного района является важной экологической и социальной работой.

Целью данного исследования является пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса правобережной части Липецкого промрайона.

Район работ расположен на правобережье р. Воронеж и охватывает территорию областного центра – г. Липецк и прилегающего Липецкого района.

С севера граница проходит по левому борту р. Кузьминка; с востока – по реке Воронеж; с запада по линии, проходящей вблизи населенных пунктов

Частая Дубрава, Плоская Кузьминка, Вешаловка; с юга – по линии проходящей вблизи населенных пунктов Студеные Хутора, Подгорное. Общая площадь исследований составляет около 500 км².

Территория расположена в пределах Окско-Донской низменности, в бассейне р. Дон и его левого крупного притока р. Воронеж.

Западная часть территории, находящаяся в междуречье рек Дон и Воронеж, является переходной от возвышенности к низменности. Она представляет собой расчлененную (0,5 км/км²) и сильно расчлененную (более 1 км/км²) долинами и балками равнину с полого волнистым рельефом, с абсолютными высотами водоразделов 200–230 м и глубиной эрозионного вреза овражно-балочной сети до 60–70 м. К югу наблюдается выравнивание рельефа и снижение высот водораздельной равнины. Извилистая водораздельная линия бассейнов рек Дон и Воронеж проходит с севера на запад между ручья Лубна и р. Кузьминка, затем с запада на юго-восток, далее между рек Репец и Белоколодец в юго-западном направлении.

Липецкая область расположена на северо-восточном крыле Воронежской антеклизы [4]. Территория работ расположена в пределах Междуречного Воронежско-Донского геоморфологического района, который имеет четкую неотектоническую характеристику, и отличается определенным комплексом неогеновых и четвертичных образований, своеобразным сочетанием типов и форм рельефов. Схема расположения участка исследований представлена на рисунке 1.

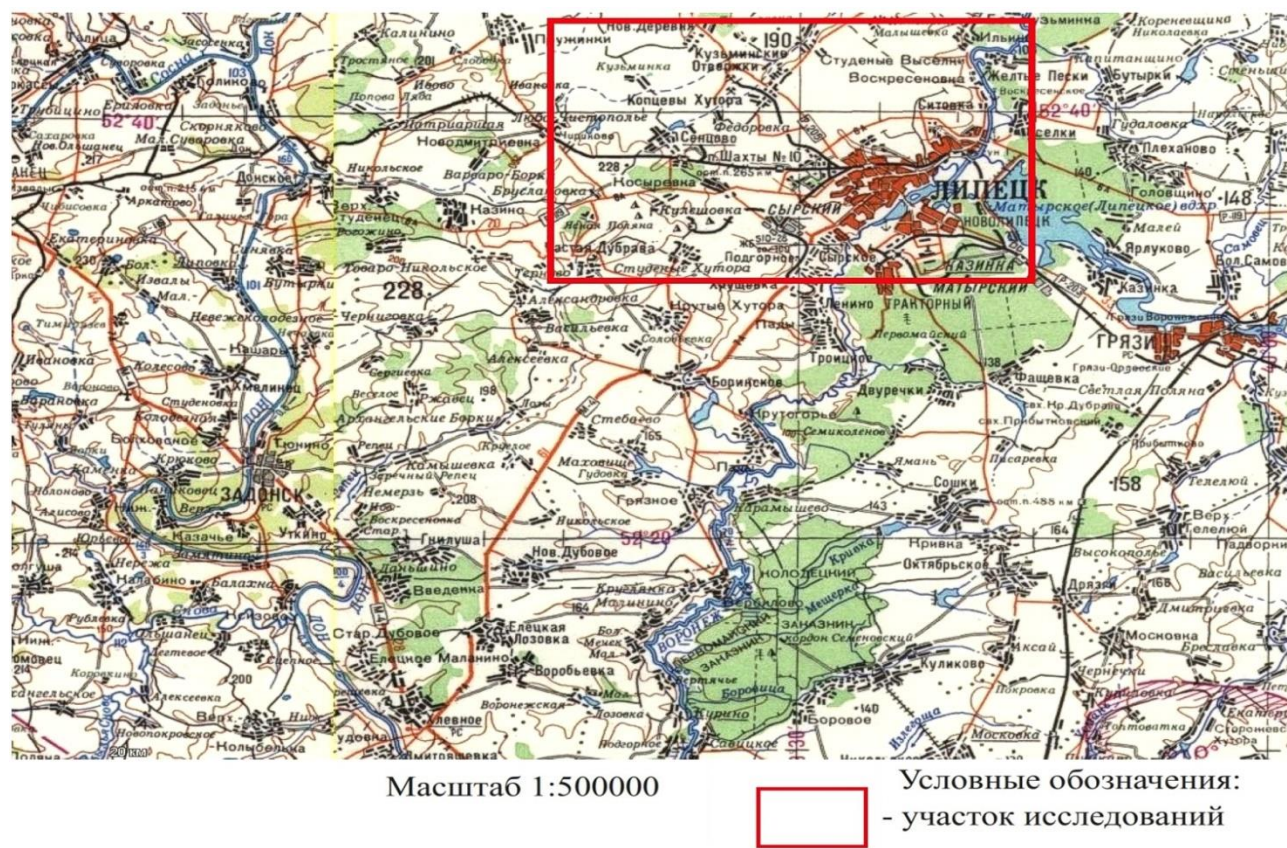


Рис. 1. Карта расположения участка исследований.
[Fig. 1. Map of the surveyed area.]

Главной рекой территории является Воронеж. На крайнем северо-западе – р. Дон. В пределах территории протекают левые притоки р. Дон: рек Репец, Студенец, Лубна, правые притоки р. Воронеж: рек Липовка, Белоколодец, Лячиха, Кузьминка, Мартынчик; левые притоки: рек Двуречки, Матыра, Кривка, Колпинка, Лулавка. Реки по водному режиму, источнику питания и характеру долин являются типичными для полосы умеренно-континентального климата территории Средне-Русской равнины. Большая их часть течет в хорошо разработанных долинах, где, как правило, правый склон крутой, левый – пологий.

Методика исследований

Краткая геолого-гидрогеологическая характеристика района работ произведена на основании данных съемки листа N-37-XXXIV масштаба 1:200000. Для проведения эколого-гидрогеологических исследований использовались скважины, перечисленные в таблице 1 (табл. 1). На каждом водозаборе в качестве основы использовались скважины с максимальным значением концентрации нитратов.

Временной промежуток наблюдения за качеством подземных вод: с 2001 по 2019 года. При этом, для сравнения были использованы данные 2001, 2005, 2015 и 2016–2019 гг. Объединение данных с 2016 по 2019 год связано с необходимостью более полного выделения участков загрязнения подземных вод, а также нерегулярностью проводимого мониторинга

подземных вод. Использовались временные интервалы с максимальным количеством данных.

Табл. 1. Скважины для наблюдения за содержанием нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса.

[Table 1. Wells used to monitor the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex]

| № п/п [number of order] | Номер скважины, ВНС [Well number, water station] |
|----------------------------|---|
| 1 | 2 |
| 1 | 42100028 |
| 2 | 42100011 |
| 3 | 42202956 |
| 4 | 42204790 |
| 5 | б/н, Тужиловка [without a number, Tuzhilovka] |
| 6 | 42203067 |
| 7 | 42202925 |
| 8 | 42100046 |
| 9 | ВНС 1 [water station 1] |
| 10 | ВНС 8 [water station 8] |
| 11 | ВНС 4 [water station 4] |
| 12 | ВНС 11 [water station 11] |
| 13 | ВНС 2 [water station 2] |
| 14 | ВНС 7 [water station 7] |
| 15 | ВНС 5 [water station 5] |
| 16 | ВНС 7а [water station 7a] |

Продолжение Табл. 1
[Continued Table 1]

| | |
|----|---|
| 1 | 2 |
| 17 | ВНС 3 [water station 3] |
| 18 | 42203257 |
| 19 | 9, Новая Деревня [9, New Village] |
| 20 | 42203004 |
| 21 | ВНС 10 [water station 10] |
| 22 | 8, Новая Деревня [8, New Village] |
| 23 | б/н, западнее ВНС 7 [without a number, west of the water station] |

Для оценки степени загрязненности подземных вод нитратами (табл. 2) был использован параметр, имеющий взаимосвязь с экологической обстановкой [5–7]. Этим параметром является:

K_k – коэффициент концентрации по каждому элементу, превышающему ПДК, который рассчитывается по формуле:

$$K_k = \frac{C_i}{C_{\text{ПДК}}}, \quad (2)$$

где C_i – концентрации элемента в анализируемой пробе (мг/дм³, мг/кг); $C_{\text{ПДК}}$ – нормируемая предельно допустимая концентрация данного элемента (мг/дм³, мг/кг).

Табл. 2. Нормирование состояния подземных вод по степени загрязнения
[Table 2. Rating the groundwater status by degree of contamination]

| Концентрация нитратов, мг/ дм ³ [Nitrate concentration, mg/dm ³] | Значения K_k нитратов [Values of C_c substances of hazard class 3] | Оценка состояния вод [Water condition assessment] | Цвет [Color] |
|--|--|--|-----------------------|
| <45 | <1 | Допустимое [Allowable] | Зеленый [Green] |
| 45-225 | 1-5 | Умеренно опасное [Moderately dangerous] | Желтый [Yellow] |
| 225-450 | 5-10 | Опасное [Dangerous] | Оранжевый [Orange] |
| 450-675 | 10-15 | Высоко опасное [Highly dangerous] | Коричневый [Brown] |
| >675 | >15 | Чрезвычайно опасное [Extremely dangerous] | Красный [Red] |

Сравнительный анализ загрязнения водоносного задонско-опуховского карбонатного комплекса производился по диаграммам, где были отложены минимальные и максимальные концентрации нитратов за каждый временной интервал. Анализ среднего уровня загрязнения подземных вод производился путем анализа средних значений концентраций нитратов за каждый временной интервал. Для фиксации «плотности» загрязнения рассчитывался процент скважин с превышением ПДК нитратов.

Выявление «очагов» загрязнения производилось путем статистической обработки данных химического анализа подземных вод во всех скважинах. Статистический анализ включал в себя:

- расчет средних концентраций нитратов за период наблюдений и для каждой скважины;
- расчет среднеквадратического отклонения;
- выявление наибольших концентраций загрязняющих веществ для каждого временного интервала;
- выявление скважин, в которых концентрация нитратов превышает среднеквадратическое отклонение.

После выявления «очагов» загрязнения выявлялись основные источники загрязнения водоносного задонско-опуховского карбонатного комплекса нитратами.

Результаты исследований

В пределах рассматриваемого участка геологический разрез до глубины залегания целевого водонос-

ного горизонта сложен осадочными породами девонской, юрской, меловой, неогеновой и четвертичной систем [8].

Отложения девонской системы представлены средним и верхним отделами. На структурно-эрозионную поверхность кристаллического фундамента они залегают с резким угловым и стратиграфическим несогласием.

Нижнефаменский подъярус сложен задонским и елецким горизонтами, которым отвечают одноименные свиты.

Задонская свита (D_{3zd}) залегают на ливенской с разрывом и имеет четкую литологическую границу с ней. Отложения свиты развиты на всей территории, за исключением палеодолины к югу от г. Липецка. Мощность полных разрезов от 10 м на северо-западе до 29 м. В центре территории свита представлена отложениями мелкого моря – известняками, мергелями и известковистыми глинами.

Елецкая свита (D_{3el}) залегают согласно на задонской перекрывается отложениями юры, нижнего мела, палеоцена, квартера. Полная мощность в разрезах перекрытых лебедянской свиты достигает 80 м. Отложения елецкой свиты, представлены массивными известняками различных типов с редкими маломощными прослоями мергелей в нижней части разреза.

Среднефаменский подъярус представлен лебедянским и опуховским горизонтами, которым отвечают одноименные свиты.

Лебедянская свита (D_{3lb}) залегает с разрывом на елецкой, развита на северо-западе и северо-востоке территории. Мощность до 21 м. Лебедянская свита сложена известняками тонкозернистыми, органогенными, конгломератовидными с прослоями ракушняка, доломитов, доломитовых мергелей и аргиллитоподобных глин.

Оптуховская свита (D_{3op}) залегает согласно на лебедянской и имеет с ней четкую границу, распространена на крайнем севере территории. Абсолютные отметки подошвы 120–135 м, мощность до 20 м. Свита сложена доломитами от светло-желтых до буровато-серых.

Водоносный задонско-оптуховский карбонатный комплекс – (D_{3zd-op}) приурочен к карбонатным отложениям задонской (верхняя часть разреза), елецкой, лебедянской и оптуховской свитам. Комплекс распространен повсеместно. На дневную поверхность выходит в бортах долин рек Воронеж, Дон и их притоков. На большей площади своего распространения комплекс залегает под обводненными, нижнемеловыми и неогеновыми отложениями и только местами на востоке перекрыт водоупорными отложениями юры. В современных речных долинах в него врезан водоносный современный аллювий. Водоупорным ложем комплекса повсеместно служат глины, и мергели нижней части задонской свиты. Кровля комплекса погружается в северо-восточном направлении. Глубина ее залегания изменяется от 1 м в бортах современных эрозионных врезов до 65–87 м на водоразделах. Подошва водоносного комплекса полого наклонена в северо-восточном направлении, абсолютные отметки изменяются от 135 м на юго-западе до 18 м на северо-востоке. Мощность комплекса изменяется от 2–10 м до 90 м. Максимальная мощность на северо-востоке территории, минимальная – в современных и палеодолинах. На западе территории верхняя часть (1–30 м) известняков сухая. Водоносный комплекс приурочен к известнякам детритовым слоистым. На севере территории появляются доломитовые разности и пелитомофные известняки, в разрезе доломиты. По степени проницаемости разрез разделяется на две толщи. Верхняя сложена хорошо проницаемыми, закарстованными и квернозными известняками (коэффициент пористости 10–20 %). Скорость фильтрации от 1 до 51 м/сут при тысячных и сотых долях уклона в одном потоке. Коэффициент фильтрации по опытным данным изменяется от 8–9 до 74 м/сут. Нижняя толща представлена слабопроницаемыми плотными известняками (коэффициент пористости 1–5 %), мощность которых изменяется от 20–30 до 60 м. Скорость фильтрации в них составляет десятые и сотые метров в сутки. Величина коэффициента фильтрации по опытным данным не превышает 5–6 м/сут.

На правом берегу воды комплекса безнапорные. Они залегает на 8–32 м ниже кровли комплекса от нескольких метров в современных эрозионных врезках до 40–50 м в борту долины р. Воронеж 80–87 м на водоразделах междуречья рек Дона и Воронежа. Абсолютные отметки уровней изменяются от 136–142 на

водоразделах до 105 к дрене р. Воронеж. Уровненная поверхность неровная.

Химический состав вод комплекса гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, кальциевый с минерализацией от 0,2 до 0,7 г/дм³, общей жесткостью от 1,1 до 26,5 мг-экв/дм³, нейтральной и щелочной средой (рН 6,4–9). Изменение химического состава вод и увеличение минерализации вод до 1,8 г/дм³ связано главным образом с поступлением загрязняющих веществ из зоны аэрации, особенно в областях питания водоносного комплекса, а также при инфильтрации поверхностных вод в пределах промышленно-урбанизированных и сельскохозяйственных районов. Наиболее интенсивно комплекс загрязнен нитратами и железом.

Нитраты в концентрации, превышающей 10 мг/дм³, характерны для подземных вод правобережья р. Воронеж. Умеренно-опасное загрязнение нитратов (1–4 ПДК) установлено северо-западнее и юго-западнее Липецка на площади 1375 км². Степень защищенности зависит от глубины залегания кровли водоносного комплекса, мощности перекрывающих его водонепроницаемых отложений, степени нарушения рельефа.

На правом берегу расположено большое количество сельскохозяйственных предприятий обеспечивающие г. Липецк продуктами питания и являющихся источниками нитратов. Шахты, многочисленные шурфы и скважины Липецкого железорудного месторождения, вскрывающие кровлю известняков, засыпаны гигроскопичным материалом и на протяжении 50 лет служили путями проникновения нитратов в подземные воды.

Водообильность комплекса на правом берегу значительно меньше, чем на левом берегу. Модуль подземного стока, подсчитанного здесь на засушливый 1972 г., на водоразделах составил 0,5 л/сек на 1 км², в придолинной части р. Воронеж достигает 7 л/сек на 1 км². Водообильность зависит от степени трещиноватости известняков. Дебиты скважин изменяются от 0,2–0,5 л/сек на водоразделах до 41–46 л/сек. Удельные дебиты изменяются от 0,01–0,04 л/сек до 5–78 л/сек, удельные дебиты водозаборных скважин колеблются от 0,01–12 л/сек до 54–44 л/сек. Дебиты родников – 0,01–1 л/сек.

Задонско-оптуховский водоносный комплекс не имеет надежного водоупорного перекрытия. В местах их отсутствия комплекс тесно взаимосвязан с водами нижнемеловых, плиоценовых и четвертичных отложений.

По данным наблюдения за режимом подземных вод отмечено, что в годовом разрезе максимальные отметки уровней фиксируются в период весеннего паводка, а самое низкое его положение приходится на июнь-август и декабрь-январь. Колебания уровней от 1,3 м до 4,1 м. Дополнительное питание комплекс получает из нижележащих водоносных комплексов в зонах разрывных нарушений. Основной дренаж комплекса происходит в погребенную неогеновую долину. Из-за различий проницаемости урывских и елецких отложений в этом месте может создаваться барраж и некоторые накопления воды. Частичный дре-

наж осуществляется в современные долины рек и ручьев в виде родников: на правом берегу на отметках 120–125 м на левобережье 107–118 м.

Задонско-оптуховской водоносный комплекс является важнейшим источником водоснабжения Липецкого промрайона на нем базируется водоснабжение города Липецка, Грязи и сельских населенных пунктов [8].

Экологическая оценка качества подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2001 году, в целом соответствует умеренно опасному состоянию (рис. 2). Основной «очаг» загрязнения приурочен к населенным пунктам: Тужиловка, Северная Шахта, Кузьминские Отвержки. Кроме того, в юго-восточной части фиксируется очаг загрязнения подземных вод в районе ВНС 1, ВНС 8. Максимальные концентрации составляют в северо-западной части участка – 156,33 мг/дм³ (3,47 ПДК), а в юго-восточной – 51,46 мг/дм³. Более 50 % изучаемой территории приходится на умеренно опасное состояние качества подземных вод. Экологическая оценка качества подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2005 году (рис. 3), в целом соответствует умеренно опасному состоянию. Основной «очаг» загрязнения по-прежнему приурочен к населенным пунктам: Тужиловка, Новая Дерев-

ня, Кузьминские Отвержки, Северная Шахта. Кроме того, в юго-восточной части фиксируется «очаг» загрязнения подземных вод в районе ВНС 8. Максимальные концентрации составляют в северо-западной части участка – 186,1 мг/дм³ (4,14 ПДК), а в юго-восточной – 52,0 мг/дм³. Отмечается тенденция снижения концентрации нитратов в юго-западной части изучаемой территории в период исследований. Направление распространения загрязнения – юго-восточное, что обусловлено направлением течения подземных вод и расположением основных водозаборов.

Пространственно-временные закономерности развития эколого-гидрогеохимической аномалии прослеживаются в 2015 году (рис. 4), в целом сохраняется умеренно опасный уровень загрязнения. Комплекс источников загрязнения по-прежнему приурочен к сельским поселениям: Тужиловка, Новая Деревня, Студеные Выселки, Малышевка. Кроме того, в юго-восточной части фиксируется очаг загрязнения подземных вод в районе ВНС 1, ВНС 8. Максимальные концентрации составляют в северо-западной части участка – 140,0 мг/дм³ (3,11 ПДК), а в юго-восточной – 52,0 мг/дм³. Отмечается тенденция снижения концентрации нитратов в юго-западной части изучаемой территории. Тренды распространения загрязнения имеют юго-восточное направление.

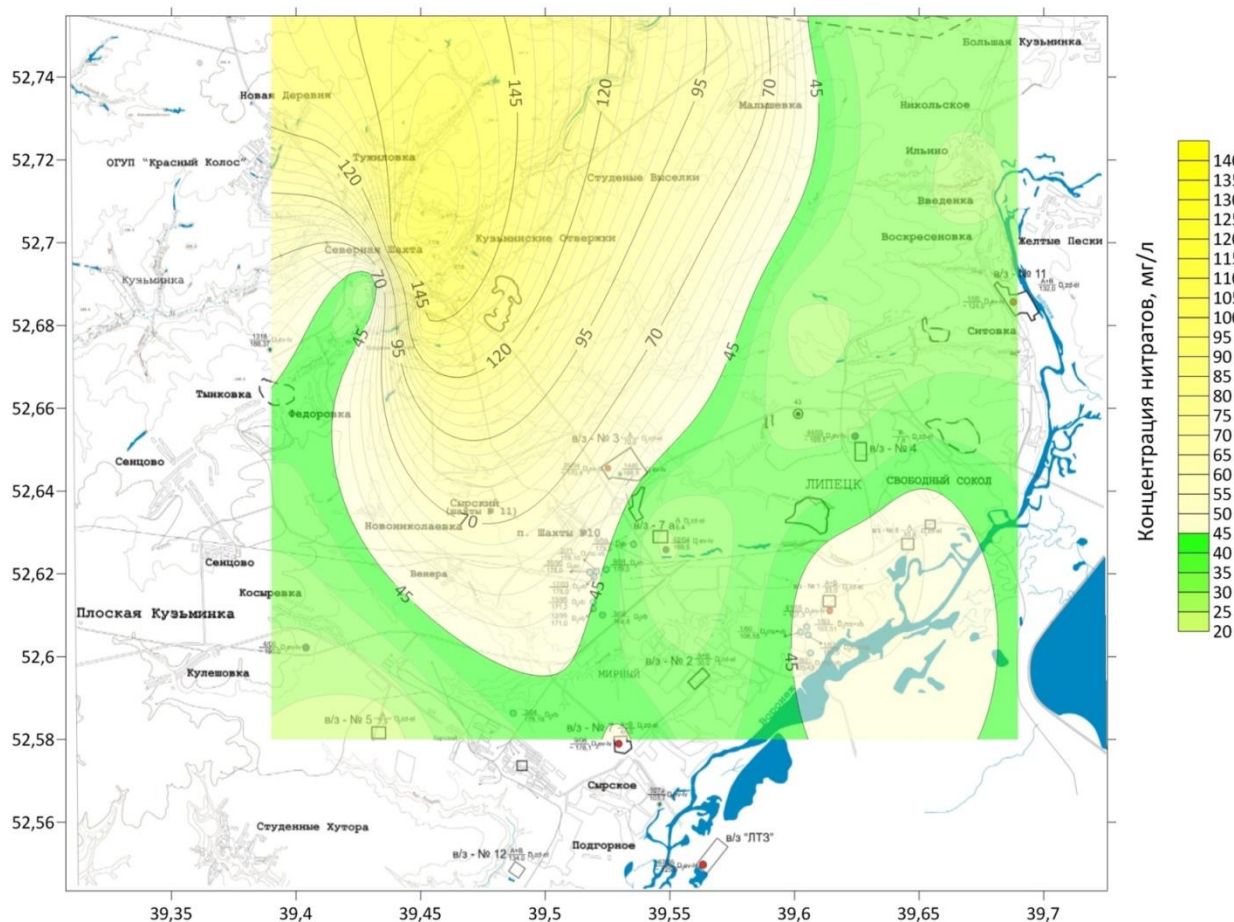


Рис. 2. Схема содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2001 году. [Fig. 2. Scheme of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovskiy aquifer carbonate complex in 2001.]

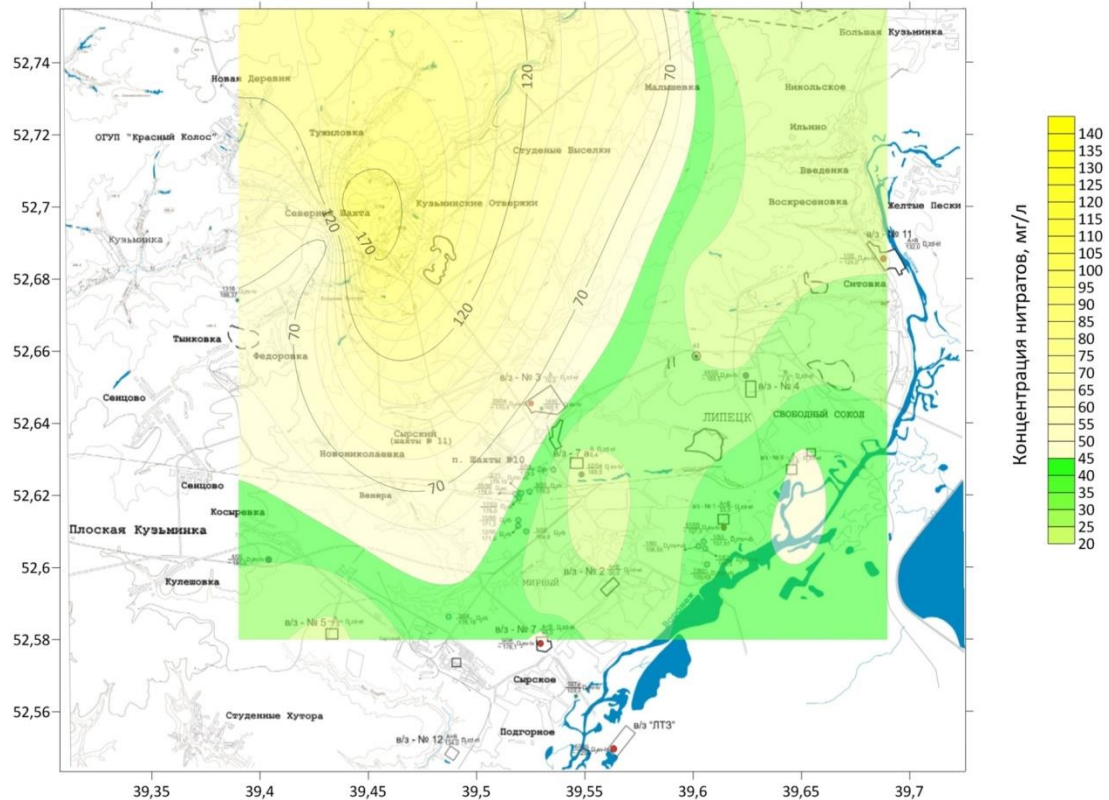


Рис. 3. Схема содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2005 году. [Fig. 3. Scheme of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex in 2005.]

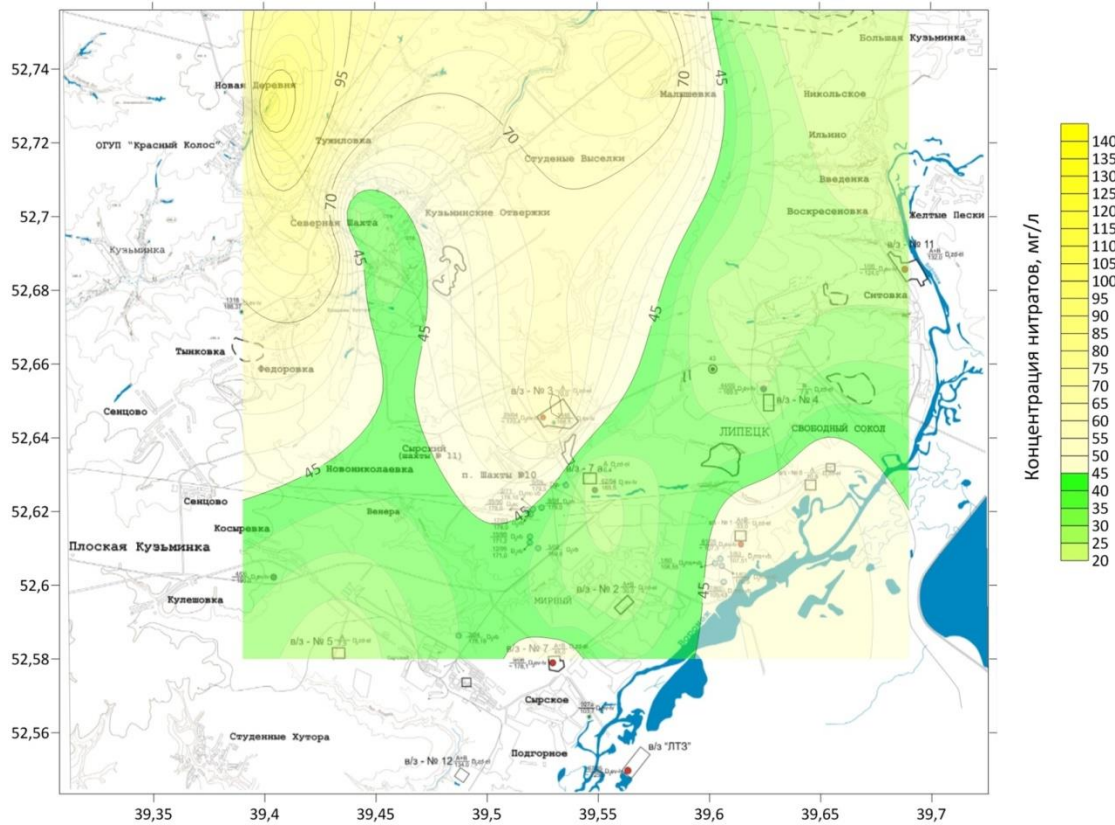


Рис. 4. Схема содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2015 году. [Fig. 4. Scheme of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex in 2015.]

Экологическая оценка качества подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2016–2019 году (рис. 5), в целом соответствует умеренно опасному уровню. Несколько расширился комплекс источников загрязнения, который пространственно приурочен к населенным пунктам: Тужиловка, Кузьминские Отвержки, Новая Деревня, Студеные Выселки. Кроме того, в юго-восточной части фиксируется очаг загрязнения подземных вод в районе ВНС 1. Максимальные концентрации составляют в северо-западной части участка – 160.86 мг/дм³(3.57 ПДК), а в юго-восточной – 72.31 мг/дм³.

Отмечается тенденция снижения концентрации нитратов в юго-западной части изучаемой территории. Колебания площади загрязнения подземных вод нитратами незначительны. Исключением является 2016–2019 года, где фиксируется значительное увеличение площади загрязнения подземных вод. В целом оно составляет около 80 % исследуемой территории. Сравнительный анализ площадей умеренно опасного загрязнения подземных вод приведен в таблице 3 (табл. 3). Из данных таблицы видно, что за период с 2001 по 2019 года общая площадь эколого-гидрогеохимической аномалии практически удвоилась.

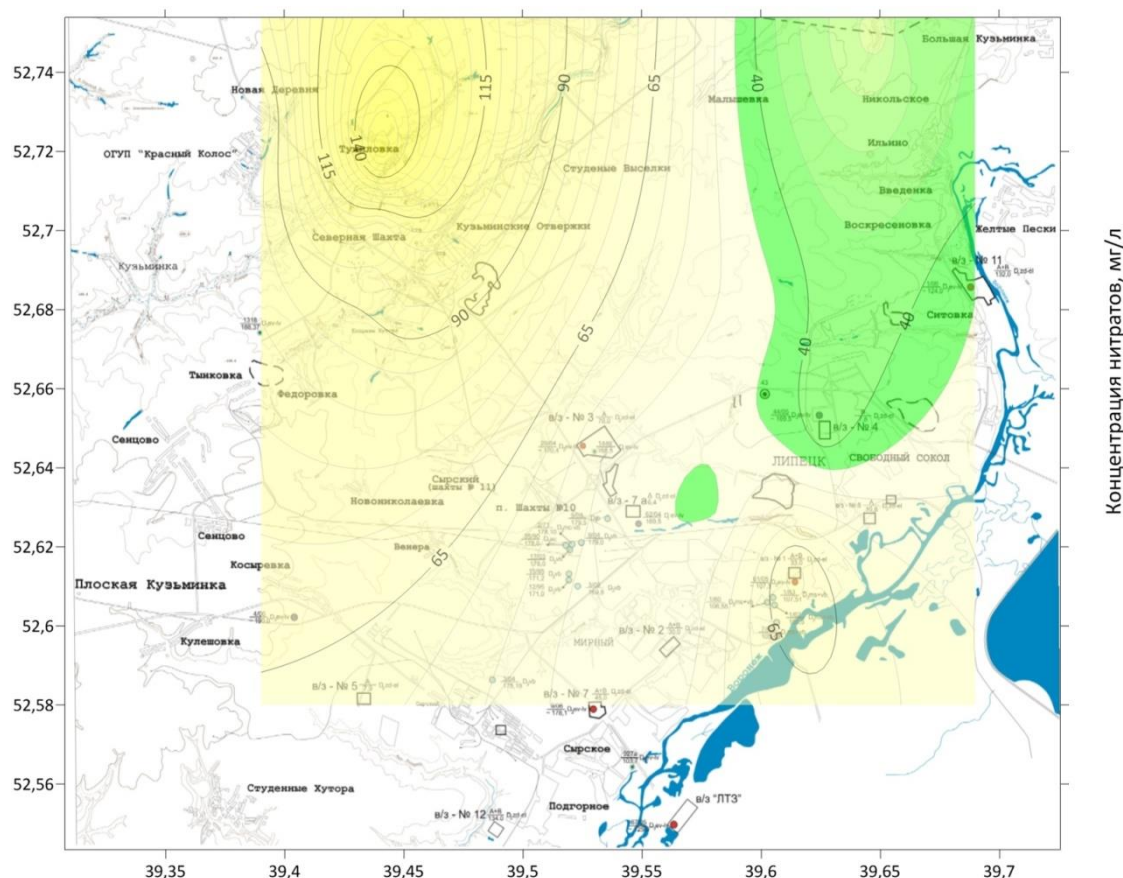


Рис. 5. Схема содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса в 2016–2019 годах.
[Fig. 5. Scheme of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex between 2016 and 2019.]

Табл. 3. Площади умеренно опасного загрязнения подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса нитратами

[Table 3. Areas of moderately hazardous groundwater nitrate contamination of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex]

| Показатель [Index] | Год [Year] | | | |
|---|---------------|--------|--------|-----------|
| | 2001 | 2005 | 2015 | 2016-2019 |
| Площадь умеренно опасного уровня загрязнения подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса нитратами, км ² [Area of a moderately hazardous level of groundwater pollution of the aquifer Zadonsk-Optukhov carbonate complex with nitrates, km ²] | 272,85 | 255,37 | 262,18 | 402,73 |

Благоприятная ситуация за весь период наблюдений фиксируется в северо-восточной части участка исследований и соответствует допустимому уровню загрязнения подземных вод. Систематизация максимальных и минимальных концентраций содержания нитратов в водах елецко-оптуховского водоносного комплекса представлена в виде диаграмм (рис. 6).

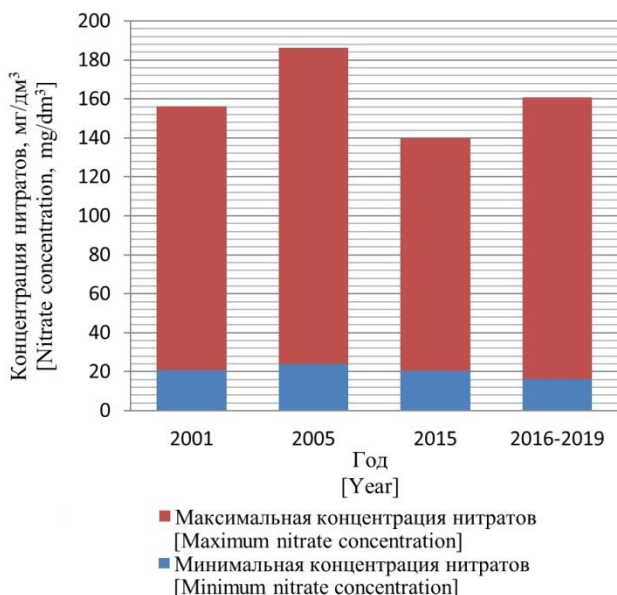


Рис. 6. Диаграмма максимальных и минимальных концентраций загрязняющих веществ.
[Fig. 6. Diagram of maximum and minimum pollutant concentrations.]

Для каждого года наблюдений результаты были усреднены. Отмечается, что максимальные значения фиксируются в 2005 году. Максимальная амплитуда колебаний концентраций нитратов фиксируется в 2005 году. Это свидетельствует о приуроченности формирования основного тела эколого-гидрогеохимической аномалии именно в этот период. Амплитуда колебаний минимальных значений концентрации нитратов составляет 7.6 мг/дм³, а максимальных – 46.1 мг/дм³. Учитывая значения максимального и минимального уровня загрязнения подземных вод, а также площади загрязнения можно сделать вывод о техногенном типе загрязнения.

Анализ средних значений концентраций нитратов показан на рис. 7.

Все средние значения концентраций нитратов больше 45 мг/дм³ (1 ПДК), что свидетельствует о несоответствии качества подземных вод санитарно-эпидемиологическим требованиям. Максимальное среднее значение наблюдалось в 2005 году и составляло 72,15 мг/дм³ (1,60 ПДК).

Количество скважин, в которых фиксируется превышение концентраций нитратов отличаются по площади и во времени. В связи с тем, что в отдельные годы, в некоторых скважинах определение нитратов не производилось, был рассчитан процент скважин с превышением ПДК (рис. 8).

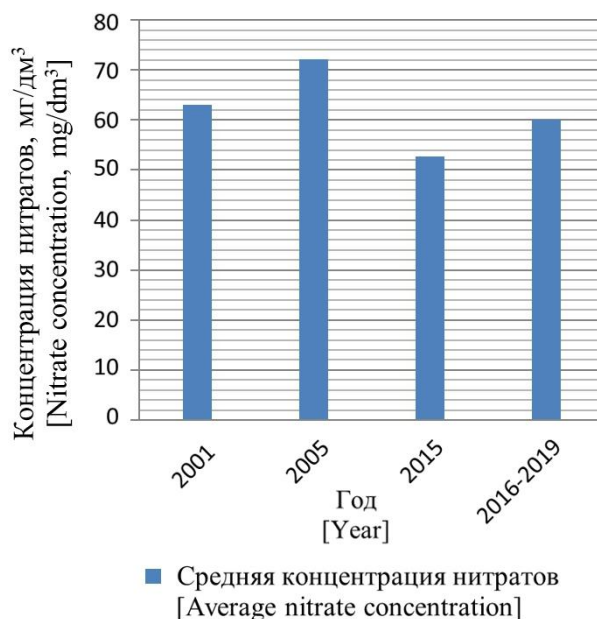


Рис. 7. Диаграмма средних значений концентраций загрязняющих веществ.
[Fig. 7. Diagram of average values of pollutant concentrations.]

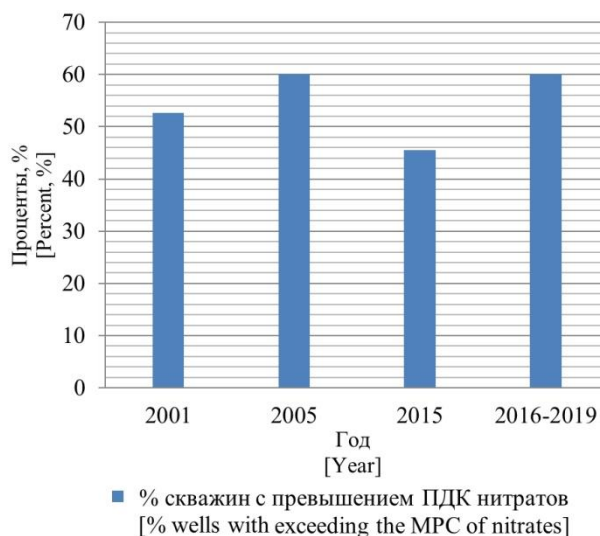


Рис. 8. Диаграмма числа скважин, в которых обнаружено превышение ПДК.
[Fig. 8. Diagram of the number of wells where MPC was exceeded.]

Выявлено, что максимально число превышений концентраций загрязняющих веществ наблюдается в период 2005 и 2016–2019 гг. (60 %).

Особый интерес представляет выявление основных «очагов» загрязнения за 19 лет. Для выявления основных очагов загрязнения были применены методы статистического анализа данных (табл. 4).

В результате анализа полученных данных выявлено, что наибольшие значения концентраций нитратов фиксируются в скважинах (населенных пунктах): 42204790 (Северная Шахта), б/н (Тужиловка), 9 (Новая Деревня). Скважины (населенные пункты), в ко-

торых фиксируются значения, выходящие за пределы среднеквадратичного отклонения, за исключением выше обозначенных: 42202956 (Копцевы Хутора), 8 (Новая Деревня).

Таким образом, самые крупные «очаги» загрязнения подземных вод нитратами находятся в районе д. Тужиловка, Новой Деревни, микрорайона Северная Шахта (Рудник), д. Копцевы Хутора. Основными источниками поступления нитратов в подземные воды являются следующие объекты:

- птицефабрика, комплекс КРС, сельскохозяйственные поля орошения (р-н Новой Деревни, д. Тужиловка);
- птицефабрика, выращивание КРС (на северо-западной окраине с. Кузьминские Отвержки Липецкого района);
- предприятие химической промышленности Северная Шахта (Рудник);
- птицефабрика, помехохранилище (д. Копцевы Хутора).
- свалки и полигоны ТКО (например, полигон ТКО «Венера») [9–11].

Табл. 4. Статистическая обработка результатов определения концентраций нитратов в скважинах
[Table 4. Statistical processing of the results of nitrate concentrations in wells]

| Номер скважины, ВНС [Well number, WS] | 2001 | 2005 | 2015 | 2016-2019 | Среднее значение [Mean] |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|
| 42100028 | 27,63 | 26,50 | 29,13 | 47,60 | 34,79 |
| 42100011 | - | | | 44,17 | 44,17 |
| 42202956 | 143,00 | 165,70 | 38,90 | 94,70 | 92,20 |
| <u>42204790</u> | <u>156,33</u> | <u>186,10</u> | 32,00 | 98,78 | 95,70 |
| <u>б/н, Тужиловка</u> <u>[n/n, Tuzhilovka]</u> | - | 140,30 | 73,20 | <u>160,86</u> | 117,03 |
| 42203067 | 122,75 | 120,30 | 62,50 | 79,80 | 88,35 |
| 42202925 | - | - | 21,00 | 16,40 | 18,70 |
| 42100046 | - | - | 20,50 | 31,04 | 25,77 |
| ВНС 1 [WS 1] | 51,46 | 48,20 | 52,00 | 72,31 | 58,59 |
| ВНС 8 [WS 8] | 50,20 | 52,00 | 52,00 | - | 51,10 |
| ВНС 4 [WS 4] | 36,54 | 31,80 | 30,50 | 35,83 | 34,29 |
| ВНС 11 [WS 11] | 31,26 | 29,10 | 27,00 | 44,93 | 34,40 |
| ВНС 2 [WS 2] | 35,90 | 30,80 | 32,50 | 45,93 | 38,11 |
| ВНС 7 [WS 7] | 46,90 | 54,70 | 55,00 | 46,77 | 49,56 |
| ВНС 5 [WS 5] | 20,81 | 26,20 | 24,00 | - | 22,41 |
| ВНС 7а [WS 7а] | 28,61 | 26,20 | 27,00 | - | 27,81 |
| ВНС 3 [WS 3] | 52,79 | 61,70 | 72,00 | 50,68 | 58,49 |
| 42203257 | 26,39 | 63,10 | 83,00 | - | 54,70 |
| <u>9, Новая Деревня</u> <u>[New Village]</u> | 125,77 | 120,00 | <u>140,00</u> | - | <u>132,89</u> |
| 42203004 | 87,15 | 89,50 | 85,00 | - | 86,08 |
| ВНС 10 | 36,5 | 24,00 | 28,90 | 32,03 | 32,48 |
| 8, Новая Деревня [New Village] | 76,35 | 112,40 | 135,30 | - | 105,82 |
| б/н, западнее ВНС 7 [n/n, west WS] | 41,9 | 34,30 | 37,00 | - | 39,45 |
| Средние значения [Averages] | 63,07 | 72,15 | 52,66 | 60,12 | 58,39 |
| Среднеквадратичное отклонение [Standard deviation] | 42,94 | 51,11 | 34,07 | 36,47 | 32,90 |

* *Примечания:* жирным выделены значения (номера скважин) выходящие за пределы среднеквадратического отклонения. Дополнительно подчеркнуты наибольшие значения концентраций нитратов.

[* *Note:* values (well numbers) that are outside the standard deviation are highlighted in bold. Additionally, the highest values of nitrate concentrations are underlined.]

Табл. 5. Характеристика загрязнения подземных вод водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса нитратами правобережной части Липецкого промрайона с 2001 по 2019 гг.
[Table 5. Characteristics of groundwater contamination of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019]

| Характеристика загрязнения [Pollution characteristic] | Значение [Meaning] |
|--|---|
| Оцениваемая площадь [Estimated area] | Около 500 км ² About 500 км ² |
| Экологическая оценка состояния подземных вод [Environmental assessment of the state of groundwater] | Умеренно опасное [Moderately dangerous] |
| Площадь умеренно опасного уровня загрязнения подземных вод [Area of moderately dangerous level of groundwater pollution] | 255,37-402,73 км ² 255,37-402,73 км ² |
| Направление распространения загрязнения подземных вод нитратами [Direction of distribution of groundwater pollution by nitrates] | Юго-западное [southwestern] |
| Максимальная концентрация нитратов [Maximum nitrate concentration] | 186,10 мг/дм ³ - 4,14 ПДК (сква. 42204790 в 2005 году) [186.10 mg/dm ³ - 4.14 MPC (well 42204790 in 2005)] |
| Минимальная концентрация нитратов [Minimum nitrate concentration] | 16,4 мг/дм ³ - 0,36 ПДК (сква. 42202925 в 2016-2019 годах) [16.4 mg/dm ³ - 0.36 MPC (well 42202925 in 2016-2019)] |
| Средние концентрации нитратов в подземных водах [Average concentrations of nitrates in groundwater] | От 52,66 мг/дм ³ - 1,17 ПДК (2015 г) до 72,15 мг/дм ³ - 1,60 ПДК (2005 г) [From 52.66 mg/dm ³ - 1.17 MPC (2015) up to 72.15 mg/dm ³ - 1.60 MPC (2005)] |
| Процент (%) скважин, в которых фиксируется превышение концентрации нитратов [Percentage (%) of wells in which an excess of nitrate concentration is recorded] | От 45,5 (2015 г) до 60 % (2005 и 2016-2019 г) [From 45.5 (2015) to 60% (2005 and 2016-2019)] |
| Местонахождение основных очагов загрязнения подземных вод нитратами [Location of the main sources of groundwater pollution by nitrates] | Д. Тужиловка, Новой Деревни, микрорайона Северная Шахта (Рудник), д. Копцевы Хутора [D. Tuzhilovka, Novaya Derevny, microdistrict Severnaya Shakhta (Mine), village Koptsevy Khutor] |
| Основные источники загрязнения подземных вод нитратами [The main sources of groundwater pollution with nitrates] | Птицефабрика, помехохранилище, комплекс КРС, земельные поля орошения, предприятия химической промышленности [D. Tuzhilovka, Novaya Derevny, microdistrict Severnaya Shakhta (Mine), village Koptsevy Khutor] |

Заключение

В результате проведенных исследований был произведен пространственно-временной анализ содержания нитратов в подземных водах водоносного задонско-оптуховского карбонатного комплекса с 2001 по 2019 гг. Основные тезисы и выводы приведены в таблице 5 (табл. 5).

Мероприятия по охране подземных вод в данной работе, в полном объеме, не приводятся и являются предметом дальнейших исследований.

В качестве основных направлений природоохранных мероприятий являются:

- ликвидация или переоборудование существующих источников негативного воздействия, в том числе ликвидация накопленного вреда окружающей среде;
- учет защищенности подземных вод при размещении потенциально опасных объектов;
- экранизации территории в районах очагов загрязнений подземных вод нитратами;
- модернизация систем водоочистки, а также утилизации и размещения отходов.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косинова И. И., Белозеров Д. А. Методика оценки трансформации верхних водоносных горизонтов в зоне влияния предприятий по производству минеральных удобрений. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 84. 2014. 121 с.
2. Косинова И. И., Кустова Н. Р. Теория и методология геоэкологических рисков // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2008. № 2. С. 189-197.
3. Косинова И. И., Богословский В.А., Бударина В.А. Методы эколога-геохимических, эколога-геофизических исследований и рациональное недропользование. Учебное пособие для студентов Вузов. Воронеж, Изд-во гос. ун-та. 2004. 279 с.
4. Савко А. Д. Геология Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 12. 2002. 165 с.

5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
6. Белозеров Д.А. Микрокомпонентный анализ качества подземных вод южной части левого берега города Воронежа // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 1. С. 130–134.
7. Белозеров Д.А., Бударина В.А., Курышев А.А. Эколого-гидрогеологическая оценка состояния водоносного верхнеплиоценового терригенного горизонта в районе Медовка Рамонского района Воронежской области. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2019. № 2. С. 107–117.
8. Шокурова В.П. Отчет о проведении геологического, гидрогеологического доизучения и инженерно-геологической съемки масштаба 1:200 000 с эколого-геологическими исследованиями на площади листов N-37-XXIV (Липецк), N-37-XXXV (Добринка). 2002.
9. Ткаченко Н. Н. Основные причины нитратного загрязнения села Становое Липецкой области на основании анализа режима эксплуатации действующих водозаборов // *География, геоэкология, геология: опыт научных исследований: сб. ст. международной научной конференции студентов и аспирантов* (Днепропетровск, 19–20 апреля 2007 г.). Днепропетровск: ДНУ, 2007. С. 216–217.
10. Ткаченко, Н. Н., Косинова И.И., Галкин А.Н. Техногенные факторы преобразования химического состава подземных вод Липецкой области // *Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы 7-й Международной научно-практической конференции* (Воронеж 20–22 сентября 2021 г.) Воронеж: ВГУ, 2021. С. 191–194.
11. Ткаченко, Н.Н. Экологическое влияние сельскохозяйственных экономических зон на качество подземных вод // *Проблемы экологии и экологической безопасности Центрального Черноземья Российской Федерации: материалы 11-й международной научно-практической конференции* (Липецк 12 декабря 2007 г.) Липецк: ЛЭГИ, 2007. С. 40–42.

Ткаченко Наталья Николаевна – директор экспертного департамента Российского экологического общества, Липецк, Российская Федерация, e-mail: natalytkachenko@rambler.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2768-2668>

Косинова Ирина Ивановна – д. г.-м. н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, e-mail: kosinova777@yandex.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-5197>

Белозеров Денис Александрович – к. г. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, e-mail: belozerovdenis@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7098-7774>

Бударина Виктория Александровна – к. юр. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, e-mail: budarinav@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8091-0730>

Лисецкий Федор Николаевич – д. г. н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ». Белгород, Россия, e-mail: fnliset@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1663-9346>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Natalia N. Tkachenko – Director of the Expert Department of the Russian Ecological Society, Lipetsk, Russian Federation, e-mail: natalytkachenko@rambler.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2768-2668>

Irina I. Kosinova – Dr.habil. in Geol.-Min., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kosinova777@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5439-5197>

Denis A. Belozеров – PhD. in Geography, Associate professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: belozerovdenis@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7098-7774>

Victory A. Budarina - Candidate of Law, Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: budarinav@yandex.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8091-0730>

Fedor N. Lisetskii – Dr.habil in Geography, Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Educational University", NIU "Bel-GU", Belgorod, Russia, e-mail: fnliset@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1663-9346>

Authors have read and approved the final manuscript.

Spatial and temporal analysis of nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019

©2020 N. N. Tkachenko¹, I. I. Kosinova², D. A. Belozеров^{✉2}, V. A. Budarina², F. N. Lisetskii³

¹*Regional branch of the All-Russian Public Organisation for Nature Resource Conservation "Russian Ecological Society" in the Lipetsk Region*

Office 2, 57/1 Stakhanova ul., 398004, Lipetsk, Lipetsk Region, Russian Federation

²*Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., 394018, Voronezh, Russian Federation*

³*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", NRU "BelSU". 85 Pobedy ul., 308000, Belgorod, Belgorod Region, RF*

Abstract

Introduction: The purpose of the study is a spatial and temporal analysis of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019. The study is important due to significant levels and area of pollution caused by a powerful technogenic impact. The ecological and hydrogeochemical anomaly led to the shut-down of a number of water intakes in Lipetsk.

Methodology: Spatial and temporal analysis of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019 was carried out for 23 observation points (water intakes). The time interval during which the quality of the groundwater was monitored is associated with the period when the main field of the ecological and hydrogeochemical anomaly was formed: 2001 – 2019. The data used for comparison were for 2001, 2005, 2015, and 2016-2019. Time intervals with the maximum amount of data were used. Nitrate content was analysed both by the area and time. To analyse the area of pollution, schemes were built describing the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex. Time regularities were shown in the diagrams for minimum and maximum nitrate concentrations for each time interval. Diagrams for the average level of groundwater pollution were also built and the percentage of wells with excess nitrate concentrations was calculated. Pollution focuses were identified by processing statistically the chemical analysis data for the groundwater in all of the wells. The statistical analysis included: calculating average nitrate concentrations for the observation period and for each well, calculating a standard deviation, identifying the highest concentrations of pollutants for each time interval, and identifying nitrate concentrations in wells exceeding the standard deviation.

Results and discussion: The study allowed obtaining environmental characteristics of the groundwater nitrate contamination of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex between 2001 and 2019. The estimated area was about 500 km². The groundwater conditions in the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex was determined as moderately hazardous. Its area was 255.37–402.73 km². The direction of nitrate groundwater contamination was south-western. Over the studied period, nitrate concentrations varied between 16.4 mg/dm³ (0.36 MPC) and 186.10 mg/dm³ (4.14 MPC). Annual average nitrate concentrations in the groundwater varied between 52.66 mg/dm³ (1.17 MPC) and 72.15 mg/dm³ (1.60



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Denis A. Belozеров, e-mail: belozerovdenis@yandex.ru

MPC). The locations of the main groundwater nitrate contamination focuses included: Tuzhilovka village, Novaya Derevnaya, Severnaya Shakhta (Rudnik) district, and Koptsevy Khutora village. The main sources of groundwater nitrate contamination of the right bank of the Lipetsk industrial district included: a poultry farm, a manure storehouse, cattle farming complexes, agricultural irrigation fields, and a chemical industry enterprise.

Conclusion: The results of the studies were used to conduct a spatial and temporal analysis of the nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019. The main characteristics of groundwater pollution within the studied area were identified. A following set of environmental protection measures was proposed: elimination or modification of the existing sources of negative impact, including elimination of accumulated environmental damage; consideration of the need to enable groundwater protection when placing potentially hazardous facilities; shielding the territory within the areas of groundwater nitrate contamination; modernisation of water purification systems and waste disposal systems.

Keywords: groundwater, Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex, pollution, nitrates, groundwater quality, spatial and temporal analysis, environmental protection measures.

For citation: N. N. Tkachenko, I. I. Kosinova, D. A. Belozherov V. A. Budarina, F. N. Lisetskii. Spatial and temporal analysis of nitrate content in the groundwater of the Zadonsk-Optukhovian aquifer carbonate complex of the right bank of the Lipetsk industrial district between 2001 and 2019. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 4, pp. 94–107. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/94-107>

REFERENCES

1. Kosinova I. I., Belozherov D. A. Metodika ocenki transformacii verhnih vodonosnyh gorizontov v zone vliyaniya predpriyatij po proizvodstvu mineral'nyhudobrenij [Methodology for assessing the transformation of upper aquifers in the zone of influence of enterprises for the production of mineral fertilizers]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., 2014, 121 p. (In Russ.)
2. Kosinova I. I., Kustova N. R. Teoriya i metodologiya geojekologicheskikh riskov [Theory and methodology of geoeological risks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2008, no. 2, pp. 189–197 (In Russ.)
3. Kosinova I. I., Bogoslovskij V.A., Budarina V.A. *Metody ekologo-geohimicheskikh, ekologo-geofizicheskikh issledovaniy i racional'noe nedropol'zovanie* [Methods of ecological-geochemical, ecological-geophysical research and rational subsoil use. Toolkit]. Voronezh, VSU publ., 2004, 279 p. (In Russ.)
4. Savko A. D. Geologiya Voronezhskoj anteklizy [Geology of the Voronezh anticline]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 12, 2002, 121 p. (In Russ.)
5. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 N 2 «Ob utverzhenii sanitarnykh pravil norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya» [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 N 2 «On approval of sanitary rules and norms Sanitary norms and rules. 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans»] (In Russ.)
6. Belozherov D.A. Microcomponent analysis of groundwater quality in the southern part of the left bank of the city of Voronezh. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2017, no. 1, pp. 130–134 (In Russ.)
7. Belozherov D.A., Budarina V.A., Kuryshv A.A. Ecological and hydrogeological assessment of the state of the aquifer Upper Pliocene terrigenous horizon in the Medovka area of the Ramonsky district of the Voronezh region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 2, pp. 107–117 (In Russ.)
8. Shokurova V.P. Otchet o provedenii geologicheskogo, gidrogeologicheskogo doizucheniya i inzhenerno-geologicheskoy s'emki masshtaba 1:200 000 s ekologo-geologicheskimi issledovaniyami naploshchadi listov N-37-XXIV (Lipeck), N-37-XXXV (Dobrinka), [Report on the geological, hydrogeological additional study and engineering geological survey at a scale of 1: 200,000 with ecological and geological surveys on the area of sheets N-37-XXIV (Lipetsk), N-37-XXXV (Dobrinka)], 2002.
9. Tkachenko N. N. Osnovnye prichiny nitratnogo zagryazneniya sela Stanovoe Lipeckoj oblasti na osnovanii analiza rezhima ekspluatacii dejstvuyushchih vodozaborov [The main causes of nitrate pollution in the village of Stanovoe, Lipetsk region, based on the analysis of the operating mode of existing water intakes]. *Geografija, geojekologiya, geologiya: opyt nauchnykh issledovaniy: sb. st. mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i aspirantov* [Geography, geoeology, geology: scientific research experience: state and prospects of students and post-graduates]. Dnepropetrovsk, April 19-20, 2007, DNU publ., 2007, pp. 216–217 (In Russ.)
10. Tkachenko, N. N., Kosinova I.I., Galkin A.N. Tekhnogennye faktory preobrazovaniya himicheskogo sostava podzemnykh vod Lipeckoj oblasti [Technogenic factors in the transformation of the chemical composition of groundwater in the Lipetsk region]. *Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regional'nye problemy: materialy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Ecological geology: theory, practice and regional problems: materials of the 7th International Scientific and Practical Conference]. Voronezh, September 20–22, 2021, VSU publ., 2021, pp. 191–194 (In Russ.)
11. Tkachenko, N.N. Ekologicheskoe vliyanie sel'skohozyajstvennykh ekonomicheskikh zon na kachestvo podzemnykh vod [Ecological impact of agricultural economic zones on groundwater quality]. *Problemy ekologii i ekologicheskoy bezopasnosti Central'nogo Chernozem'ya Rossijskoj Federacii: materialy 11-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. [Problems of Ecology and Ecological Safety of the Central Chernozem Region of the Russian Federation: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference]. Lipeck, 12 december, 2007, pp. 40–42 . (In Russ.)