

УДК 556.3:528.9(470.56)

## Сезонные изменения концентрации эссенциальных элементов в подземных водах Оренбургской области

*Сальникова Е. В., Каныгина О. Н., Юдин А. А.*

*Оренбургский государственный университет  
Оренбург, Россия  
salnikova\_ev@mail.ru, onkan@mail.ru, yudin-s97@yandex.ru*

Проблема питьевой воды остро стоит в Оренбургской области, в связи с чем в последние 10 лет экологическая ситуация подвергается мониторингу. Большой объем измеряемых и отслеживаемых параметров качества воды требует нового подхода к их анализу. Часть проблем можно решить, с помощью картографирования результатов экологического мониторинга. При этом установлено, что качество подземных вод зависит, в первую очередь, от географического расположения источников, а во вторую – от сезона года. В качестве объектов анализа выбрано содержание в воде особо важных для здоровья населения эссенциальных элементов – цинка и меди. Произведен отбор проб в 35 районах Оренбургской области и осуществлено определение ряда гидрохимических показателей и эссенциальных элементов в период с 2019 по 2020 год (посезонно). Установлено, что содержание исследуемых эссенциальных элементов в Восточной зоне Оренбуржья изменяется незначительно. В Центральной и Западной зонах наблюдаются значительные посезонные изменения, что может свидетельствовать о недостатке потребления местными жителями цинка и меди в осеннее-зимний период. Жителям Центральной зоны рекомендовано круглогодично употреблять продукты с повышенным содержанием цинка и меди в легкодоступной форме с целью поддержки оптимального суточного уровня поступления микроэлементов в организм. Предложенные авторами работы двухмерные картограммы, отражающие одновременно два параметра – пространство и время (местоположение и время года), позволяют наиболее полно и оперативно проводить анализ изменения содержания цинка и меди в питьевых водах. Построение карт в режиме реального времени в электронном формате с загрузкой из облачной базы данных даст возможность оперативно получить информацию о состоянии водных объектов по области и принять решение о необходимости оптимизации рациона питания.

*Ключевые слова:* цинк, медь, эссенциальные элементы, концентрация, картограммы, подземные воды, Оренбургская область.

### ВВЕДЕНИЕ

Оренбургская область является одним из регионов России со значительной антропогенной нагрузкой. На её территории располагаются ведущие отрасли промышленности, такие как химическая, нефтехимическая, топливная, пищевая, цветная и черная металлургия, которые являются основными источниками загрязнения подземных вод.

В связи с этим в подземные воды и затем в питьевые проникает значительное количество веществ, в том числе и металлов. Проводимые в последние годы мониторинги экологического состояния области позволили создать обширную научную информационную базу, практическое использование которой требует решения ряда методологических задач. Часть из них была успешно, на наш взгляд, решена. Это относится к использованию картографирования и разделению протяженной в меридианных измерениях области (755 км) на три зоны: западную, среднюю и восточную (Прихожай и др., 2004). В результате такого подхода появилась возможность сопоставления сочетаний многочисленных параметров, образующих те или иные доминирующие факторы в различных зонах. Результаты исследований опубликованы в работах (Сальникова, 2019; Skalny et al., 2019).

Исследования, проведенные в рамках проекта «Элементный статус населения России» (2010–2015 гг.), показывают, что Оренбургская область – наиболее неблагоприятный регион Приволжского Федерального округа (ПФО) с точки зрения баланса химических элементов у жителей (Афтанас и др., 2013). Дисбаланс между эссенциальными и токсичными элементами у населения области вызван, прежде всего, экологическими проблемами, обусловленными как природными, так и техногенными факторами.

В ряду многочисленных факторов, определяющих комфортность проживания населения области, особую роль играют эссенциальные элементы, в первую очередь, цинк и медь. Распределение их по территории области и сезонные колебания составляют отдельную сложную и неоднородную картину, по крайней мере, по двум измерениям.

В литературных источниках цинк и медь во многих аналогичных случаях упоминаются как приоритетные загрязнители (Jaipur, 2003). В то же время эти металлы относятся к эссенциальным микроэлементам, которые играют важную биологическую роль в отдельных организмах растений, животных и человека.

Серьезные нарушения в живых организмах могут быть вызваны избытком или недостатком всего лишь одного элемента (Оберлис и др., 2008). Дефицит цинка может привести к ухудшению состояния кожи, волос и ногтей, снижению аппетита, нарушению сна, увеличению длительности заживления ран и другим неспецифическим состояниям. Недостаток цинка в организме может приводить к усиленному накоплению меди, свинца и кадмия (Рахманин, Доронина, 2010).

Источниками поступления цинка в подземные воды могут быть сточные воды рудообогатительных фабрик и гальванических цехов, минеральных красок, производств пергаментной бумаги, вискозного волокна. Цинк может попадать в воды в результате процессов разрушения и растворения горных пород и минералов таких как смитсонит, цинкит, сфалерит и другие.

Содержание меди в подземных водах обусловлено взаимодействием воды с горными породами, содержащими ее (халькозин, халькопирит, ковеллин и др.) (Алексеев, 2008). К повышению концентрации меди в поверхностных водах и в донных отложениях приводят – вынос с загрязненной металлом речной воды, осаждение из воздушной среды, а также результаты хозяйственной деятельности человека (Добровольский, 2003; Романтеев, Быстров, 2010). При дефиците меди могут наблюдаться частные простудные и инфекционные заболевания, слабость, усталость, проблемы с обучением и памятью и другие (Scheiber et al., 2013).

В настоящей работе рассмотрено содержание и сезонные количественные изменения эссенциальных металлов (меди и цинка) в подземных водах Оренбургской области, оказывающих существенное влияние на здоровье населения области.

Цель исследования – на основе анализа данных специально разработанных двухмерных картограмм выявить сезонные изменения концентрации эссенциальных элементов в подземных водах Оренбургской области и разработать соответствующие рекомендации местным жителям по оптимизации рациона питания.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследования являлись подземные воды Оренбургской области. Образцы проб подземных вод для химического анализа, их хранение, транспортировку и подготовку к исследованиям проводили в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Отбор проб воды производили в 2019–2020 годах (посезонно) в 35 районах области, разбитой на три зоны, в том числе:

Восточная зона – 8 районов;

Центральная зона – 13 районов;

Западная зона – 14 районов.

По гидрохимическим показателям оценивали водородный показатель, общую минерализацию (по величине сухого остатка), общую жёсткость и концентрации меди и цинка. Анализ проб воды осуществляли по стандартным методикам на базе межкафедральной лаборатории физико-химических методов анализа «Оренбургский государственный университет».

Полученные показатели качества и концентрации химических элементов в пробах воды сравнивали с нормативами, утвержденными СанПиН 2.1.4.1074–01 («Питьевая вода.

Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении гидрохимических исследований были получены результаты, представленные в таблице 1. Удовлетворительными считали результаты, отклоняющиеся от нормативов СанПиН 2.1.4.1074–01 в меньшую сторону.

Таблица 1

### Показатели качества подземных вод

Зоны Оренбургской области	Средние показатели качества подземных вод		
	Водородный показатель, рН	Общая жесткость, мг/дм <sup>3</sup>	Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>
Западная	7,4±0,1	4,8±0,1	670±10
Центральная	7,5±0,1	5,0±0,1	790±12
Восточная	7,2±0,1	8,4±0,2	640±20
Норматив по СанПиН 2.1.4.1175-02	6,0–9,0	7,0	1000–1500

Примечание к таблице. Указаны средние значения ± стандартное отклонение.

Анализ приведенной таблицы показывает, что качество подземных вод в зонах различаются по некоторым показателям. Средние значения водородного показателя подземных вод области за весь период наблюдений составили от 7,2 до 7,5, что позволяет отнести их к категории слабощелочных; они примерно одинаковы для всей области.

Однако, уровень общей жесткости воды в Восточной зоне области выше, чем в Центральной и Западной зонах в 1,7 и 1,8 раза, соответственно (табл. 1). Значения общей жесткости подземных вод Оренбургской области составляют 4,8–8,4 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1), что согласно СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников», позволяет отнести её к группе вод средней жесткости. Употребление питьевой воды с жесткостью выше 7,0 мг/дм<sup>3</sup> длительное время оказывает негативное воздействие на здоровье населения, вызывая образование камней в желчном и мочевом пузырях, почках, а также артрозы и заболевания сердечно-сосудистой системы (Боев, Лесцова, 2010). Для того, чтобы уменьшить показатель жесткости воды жителям Восточной зоны рекомендовано кипятить воду перед употреблением или же применять специальные фильтры для очистки воды. Вышеназванные рекомендации позволят увеличить продолжительность жизни и снизить риск заболевания сердечно – сосудистой системы.

Общая минерализация в целом по области меньше норм СанПиН 2.1.4.1175-02 и составляет около половины нормы; ниже всего этот показатель для подземных вод Восточной зоны области (табл. 1). Для Центральной зоны общая минерализация вод в 1,2 раза выше. При этом в образцах воды Асекеевского, Бузулукского, Первомайского и Сорочинского районов Западной зоны уровень общей минерализации изменяется от 1054 до 1165 мг/дм<sup>3</sup>, практически в пределах нормы. В воде пяти районов из тринадцати, расположенных в Центральной зоне области, значения общей минерализации составили 1017–1165 мг/дм<sup>3</sup>.

Это может быть вызвано содержанием солей хлористоводородной кислоты, калия, натрия, а также токсичных ионов тяжелых металлов, которые представляют опасность для живых организмов (Еремин и др., 2010).

Такой первичный анализ – на первом уровне – распределение показателей подземных вод на территориях, зонах и в целом по области, по нашему мнению, необходимо дополнять временными параметрами – сезонными изменениями. Сезонные изменения целесообразно визуализировать как оперативно воспринимаемую наглядную информацию в виде цветных

карт – специальных двухмерных карт-картограмм, которые можно построить посредством ПО QuickMap2. Программа представляет собой модуль простейшей картографии, основными возможностями которого является оцифровка карт на основе растровой графики, и создание картографических иллюстраций из массива данных.

Для оцифровки было подготовлено изображение карты Оренбургской области в формате bmp, где каждый район разделен тремя изолиниями на 4 части: отображение концентрации исследуемых элементов, цинка и меди, по временам года.

Картографированные изображения сезонных изменений содержания цинка в подземных водах Восточной, Западной и Центральной зон области приведены на рисунках 1–6. В левом верхнем углу показаны распределения сезонов на карте.

Можно видеть, что содержание цинка во всех районах Восточной зоны близко к значениям ПДК (3,8–5,5 мг/дм<sup>3</sup>), но сезонные количества изменяются различно для разных районов (рис. 1). В некоторых районах (Новоорск, Ясный, Светлый) в течение года содержание, близко к норме. В остальных районах отмечается снижение содержания цинка в зимний период практически в 2 раза.

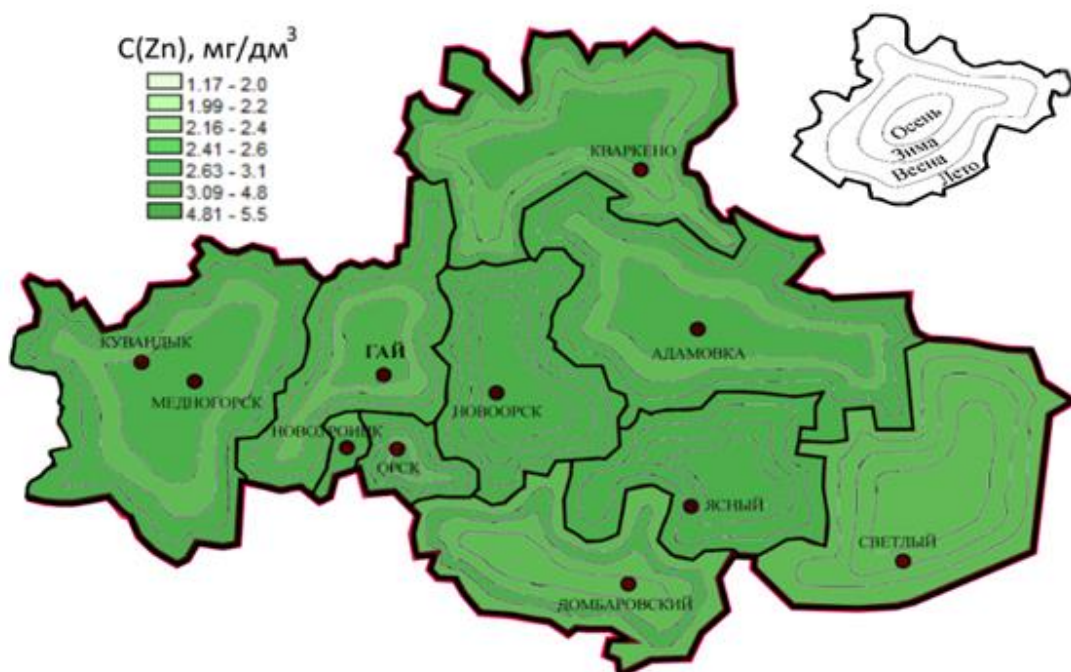


Рис. 1. Картограмма содержания цинка в подземных водах в районах Восточной зоны

Жители района Светлый испытывают дефицит цинка круглый год, жители 4-х районов должны увеличить содержание цинка в рационе зимой.

На рисунке 2 показана картограмма с сезонными изменениями содержания цинка в Центральной зоне Оренбургской области.

Видно, что концентрация цинка в исследуемых образцах воды по всей зоне ниже нормы: варьируется в пределах от 1,17 мг/дм<sup>3</sup> (Илекский район в зимний период) до 3,7 мг/дм<sup>3</sup> (Сакмарский район в весенний период), то есть от 20 до 60 % нормы и существенно зависит от смены сезона. Нормальное содержание цинка в воде отмечается в Оренбургском, Тюльганском и Переволоцком районах весной и зимой.

В четырех районах (Саракташском, Сакмарском, Илекском, Октябрьском) концентрация цинка в зимний период составила менее 2,0 мг/дм<sup>3</sup>. В весенний период данный показатель изменялся от 1,8 мг/дм<sup>3</sup> до 3,7 мг/дм<sup>3</sup>. Минимум содержания цинка относится к осенне-зимнему сезону.

Анализ проб воды, отобранных в летний и осенний периоды, показывает, что концентрация цинка колеблется в пределах 1,9–3,1 мг/дм<sup>3</sup>. В исследуемых пробах воды превышений ПДК по цинку обнаружено не было.

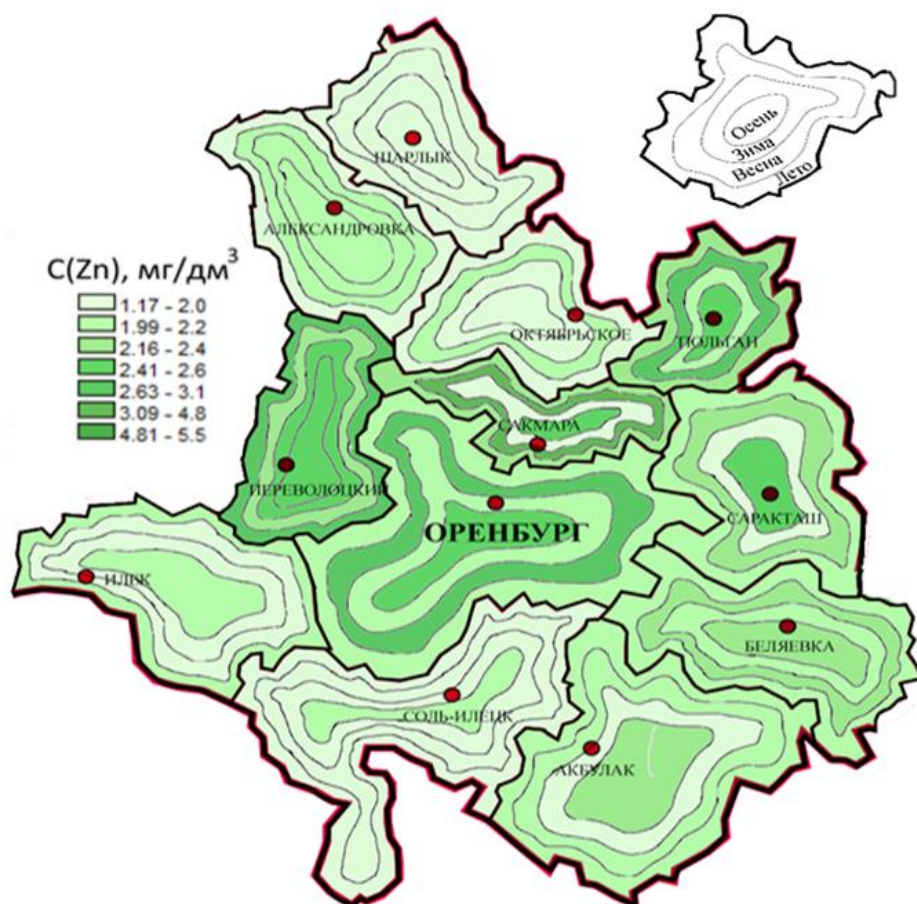


Рис. 2. Картограмма содержания цинка в подземных водах в районах Центральной зоны

Вариации содержаний цинка в подземных водах в Западной зоне представлены на рисунке 3.

Первое же рассмотрение карты Западной зоны (рис. 3) показывает, что в течение года содержание цинка в двух районах (Бугуруслан, Бузулук) имеют большой разброс – в несколько раз, в то время как в ряде районов остается практически неизменным (Ташла, Тощкое, Северное, Пономаревка, Новосергиевка, Плешаново). В двух районах Первомайском и Пономаревском содержание цинка составляет около 3 мг/ дм<sup>3</sup> круглый год, то есть 60 % от нормы. Жителям Бугуруслана и Бузулука необходимо учитывать недостаток цинка круглогодично и особенно в осенне-зимний период.

По трем картам можно сделать следующее заключение: наиболее благополучной зоной в обеспечении населения цинком круглогодично можно считать Восточную зону. В западной зоне часть жителей могут испытывать дефицит цинка в осенне-зимний период. В центральной части жители в подавляющем большинстве испытывают дефицит цинка в течение года.

Приведенный способ описания научной информации позволяет с помощью экспрессного анализа оценить общую ситуацию, величину и тренд изменений, определить время и положение критических точек, которые могут стать бифуркационными в общей системе (Пригожин, Стенгерс, 1986). Так, например:

- превышение ПДК цинка в подземных водах не отмечено, в целом, отмечается его недостаток;
- критические точки, отвечающие минимальному содержанию цинка, отмечены в четырех районах Центральной и Западной зон в осенне-зимний период (до 20 % от нормы).

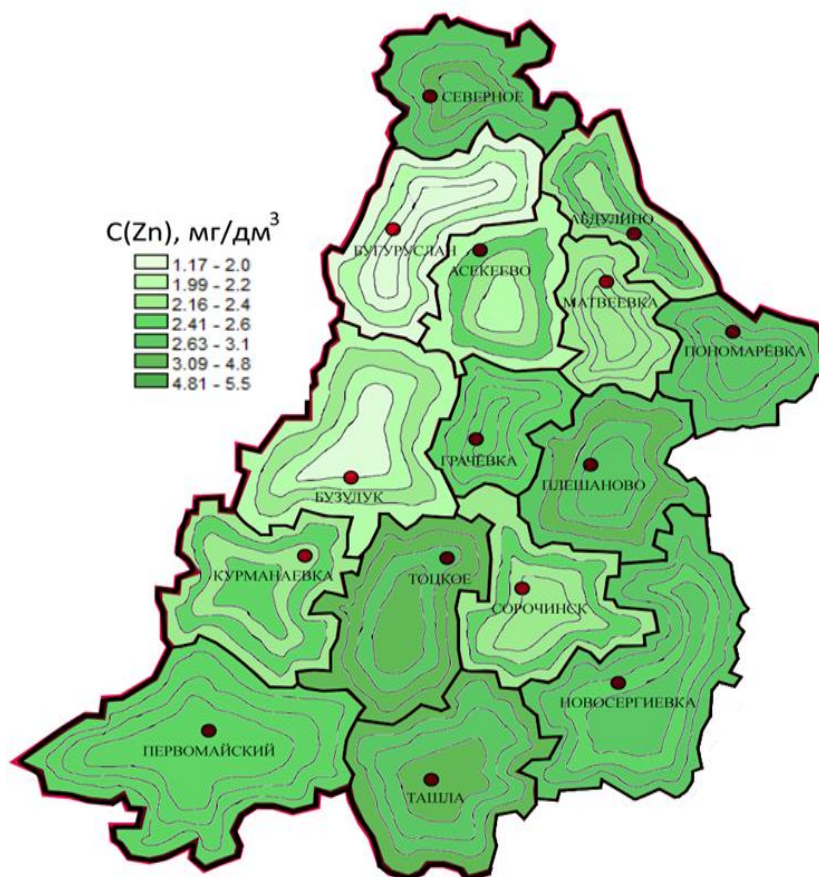


Рис. 3. Картограмма содержания цинка в подземных водах в районах Западной зоны

Полученная информация позволяет проводить подробный анализ ситуации для определения причинно-следственной связи с экологическим состоянием.

Подтверждением целесообразности использования картографирования для анализа результатов мониторинга, может служить и пример оценки содержания меди в подземных водах. Картограммы с представлением сезонных изменений содержания меди в подземных водах в трех зонах области приведены на рисунках 4–6. Первичный анализ показывает, что содержание меди в подземных водах еще более неодинаково как по расположению местности, так и по сезонам года.

Для Восточной области наблюдается полностью однородная картина, свидетельствующая о круглогодично стабильном содержании меди в пределах ПДК.

В Центральной зоне, картина обратная, пестрая – количество меди в воде существенно меняется не только по районам, но и по временам года (рис. 5).

Подземные воды Центральной зоны «бедны» медью, за исключением восточных участков. Наблюдаются низкие концентрации вышеуказанного микроэлемента, равные

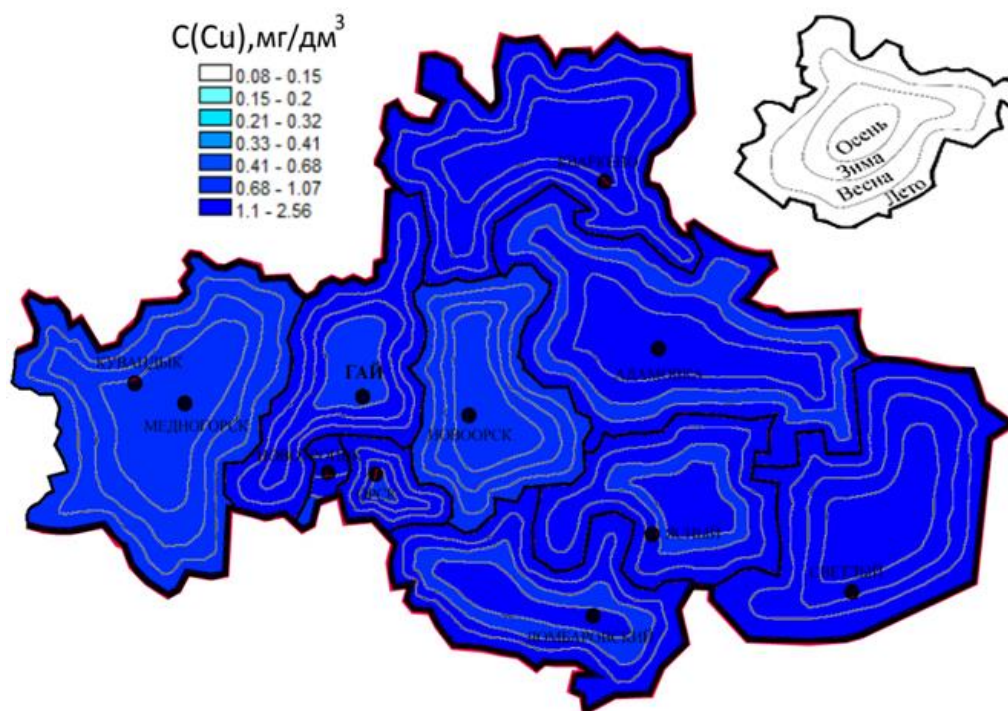


Рис. 4. Картограмма содержания меди в подземных водах в районах Восточной зоны

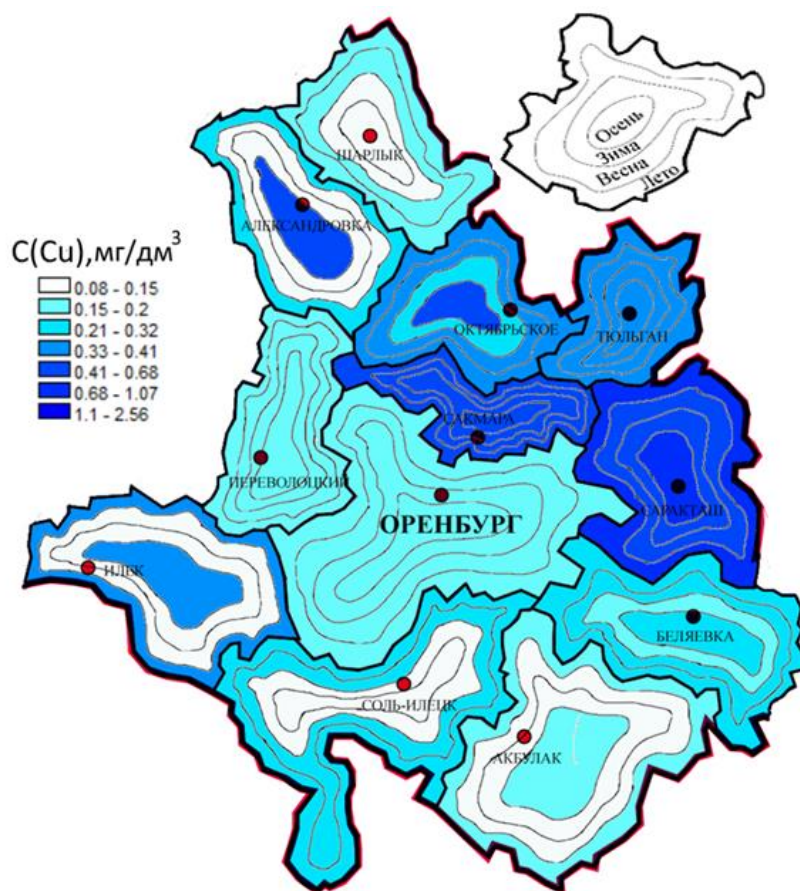


Рис. 5. Картограмма содержания меди в подземных водах в районах Центральной зоны

0,5ПДК и ниже. Наименьшее содержание меди обнаруживается в образцах воды из Илекского района в зимний период ( $0,09 \text{ мг/дм}^3$ ). В подземной воде Саракташского района наблюдается наибольшая концентрация меди, равная  $0,82 \text{ мг/дм}^3$  в осенний период.

В летнее время года отмечается наименьшая концентрация меди в воде Акбулакского района ( $0,18 \text{ мг/дм}^3$ ) и наивысшая в Саракташском районе ( $0,77 \text{ мг/дм}^3$ ).

Жителям, проживающим в районах Центральной зоны области, рекомендуется употреблять разнообразные продукты с высоким содержанием цинка и меди.

С медью благополучная ситуация наблюдается только в двух районах в течение всего года (Первомайский, Тоцкий). В Ташлинском и Северном районах в течение полугодия содержание меди составляет меньше половины от ПДК. Обедненными медью подземными водами пользуются жители нескольких районов (Бузулукского, Бугурусланского, Новосергиевского, Абдулинского и Первомайского). Жители Грачевки и Матвеевки используют воду, в которой меди нет совсем. В селе Асекеево такая ситуация сохраняется в течение шести месяцев. Получается, что большая часть населения Западной зоны испытывает существенный медный дефицит.

Распределение меди в подземных водах Западной зоны показано на рисунке 6.

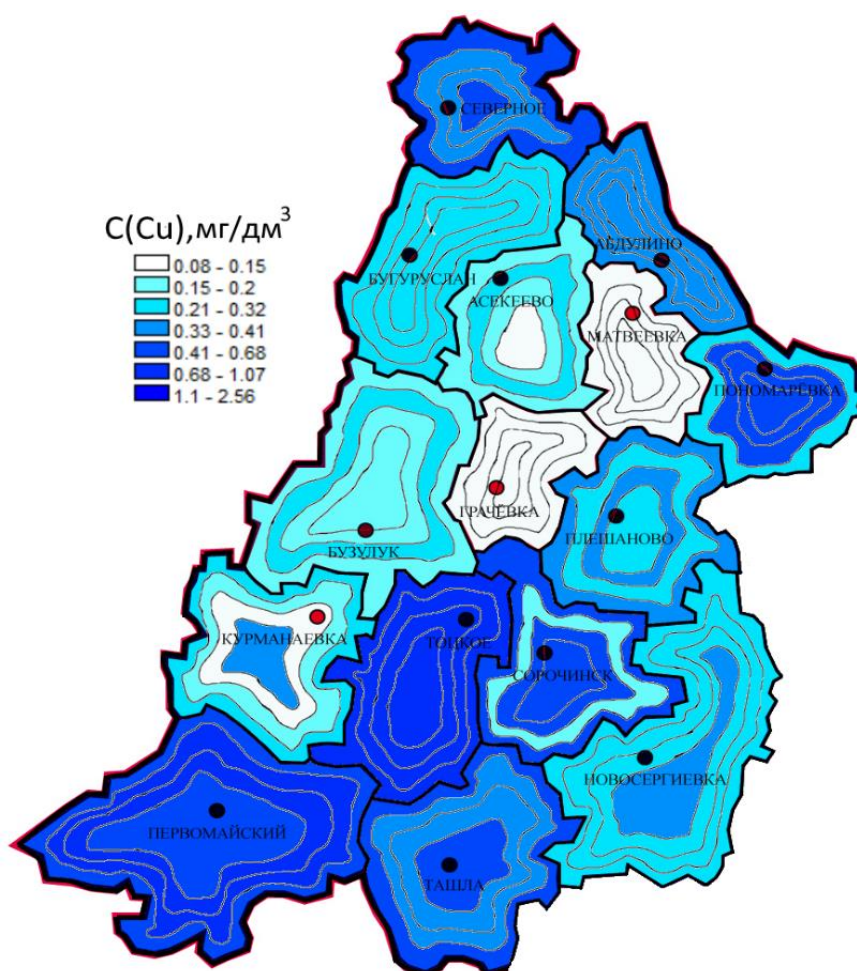


Рис. 6. Картограмма содержания меди в подземных водах в районах Западной зоны

В Западной зоне картина тоже пестрая – количество меди в воде существенно меняется не только по районам, но и по временам года. Благополучная ситуация наблюдается только в двух районах в течение всего года (Первомайский, Тоцкий).



К критическим точкам, соответствующим минимальному содержанию меди, можно отнести двадцать один район, жители которых вообще пьют воду, не содержащую медь (Матвеевский и Грачевский), а также шесть районов в осенне-зимний период.

Данные картографии должны способствовать мероприятиям, приводящим к нормированию балансов цинка и меди в организмах населения области.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг качества питьевой воды в Оренбургской области выявил неравномерное распределение в ней эссенциальных элементов – цинка и меди – в зависимости от двух параметров – пространственного расположения поселений, так и от времени года. Для оперативного управления ситуацией необходимо апробировать новые формы представления информации, получаемой в процессе мониторинга.

В качестве новой формы визуализации информационной базы, полученной при мониторинге состояния питьевой воды, предложены двухмерные картограммы, отображающие сезонное распределение эссенциальных элементов на территории области.

Анализ результатов мониторинга сезонных изменений концентраций цинка и меди в подземных водах Оренбургской области с помощью картографии существенно ускоряет и расширяет процесс оценки экологической ситуации в целом и определение критических точек в конкретных случаях. Картографический анализ результатов мониторинга вод, проведенного в 2019–2020 годах, позволил получить информацию как об общем положении с питьевой водой по области и в каждой зоне, так и отметить особые точки, для которых требуется быстрое решение и принятие мер по обеспечению населения эссенциальными элементами – цинком и медью.

Результаты визуального анализа представленных картограмм показывают следующее: содержание цинка и меди в водах во всех зонах Оренбургской области не превышают значений ПДК.

Наиболее благополучное положение наблюдается в Восточной зоне области, где концентрация цинка в среднем составляет 4,65 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышает ПДК и может являться оптимальным значением для ежесезонного поступления данного микроэлемента в рацион питания местного населения с питьевой водой.

В остальных двух зонах наиболее ощутимый дефицит эссенциальных элементов наблюдается в осенне-зимний период, что требуется учитывать жителям при составлении рациона питания.

Авторы считают, что целесообразным было бы осуществить разработку информационного картографического портала, позволяющего визуализировать и анализировать данные экологического мониторинга с применением геоаналитики на картах Оренбургской области: для каждого района разработать дашборд с диаграммами, отображающими основные показатели качества питьевых вод по запросу пользователя.

## Список литературы

- Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.
- Афтанас Л. И. Элементный статус населения России. Ч. 4: Элементный статус населения Приволжского и Уральского федеральных округов. – СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2013 – 576 с.
- Боев В. М., Лесцова Н. А. Осторожно, вода! – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ», 2010. – 28 с.
- Добровольский В. В. Основы биогеохимии. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
- Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. – СПб.: Наука, 2008. – 250 с.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
- Прихожай Н. И., Новоженин И. А., Клевцов Н. В. Атлас мониторинга земель Оренбургской области. – Оренбург: Печатный дом «Димур», 2004. – 58 с.
- Рахманин Ю. А., Доронина О. Д. Стратегические подходы управления рисками для снижения уязвимости человека вследствие изменения водного фактора // Гигиена и санитария. – 2010. – № 2. – С. 8 – 13.

Романтеев Ю. П., Быстров В. П. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. – М.: Издательский дом МИСиС, 2010. – 576 с.

Сальникова Е.В. Система экологического мониторинга содержания химических элементов в биосфере и их влияние на статус цинка у населения региона (на примере Оренбургской области): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Москва: ФГАУ ВО РУДН, 2019. – 48 с.

Токсикологическая химия. Аналитическая токсикология / [Ред. Р. У. Хабриева]. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 752 с.

Skalny A. V., Salnikova E. V., Burtseva T. I., Skalnaya M. G., Tinkov A. A. Zinc, copper, cadmium, and lead levels in cattle tissues in relation to different metal levels in ground water and soil // Environmental Science and Pollution Research. 2019. – Vol. 26, iss. 1. – P. 559-569.

Jarup L. Hazards of heavy metal contamination // Br Med Bull. – 2003. – Vol. 68. – P. 167-182.

**Salnikova E.V., Kanygina O.N., Yudin A.A. Seasonal changes in the concentration of essential elements in the underground waters of the Orenburg region** // Ekosistemy. 2022. Iss. 32. P. 5–14.

The problem of drinking water is acute in Orenburg region; therefore, the environmental situation has been monitored over the past 10 years. A large volume of measured and monitored water quality parameters requires a new approach to their analysis. Some of the problems can be solved by mapping the results of environmental monitoring. At the same time, it was found out that the quality of groundwater depended, first of all, on the geographical location of the sources, and secondly, on the season of the year. The content of zinc and copper, the essential elements for public health, was selected as the object of analysis. Samples were taken in 35 districts of Orenburg region and a number of hydrochemical indicators and essential elements were determined seasonally in the period from 2019 to 2020. The results demonstrated that the content of the studied essential elements in the Eastern zone of Orenburg region varied slightly. Significant seasonal changes were observed in Central and Western zones, which might indicate insufficient consumption of zinc and copper by local residents in the autumn-winter period. Residents of the Central zone are recommended to consume products with a high content of zinc and copper in an easily accessible form all year round in order to maintain an optimal daily intake of trace elements in the body. The authors proposed two-dimensional cartograms, reflecting two parameters simultaneously - space and time (location and time of year). It allows making the most complete and prompting analysis of changes in the content of zinc and copper in drinking waters. Real-time mapping in electronic format with downloading from a cloud database will make it possible to obtain information about the state of water bodies in the region quickly and make a decision on the need to optimize the diet.

*Key words:* zinc, copper, essential elements, concentration, cartograms, underground water, Orenburg region.

*Поступила в редакцию 25.10.22*

*Принята к печати 15.11.22*