

УДК 556.3:502.175(470.56)

## О совершенствовании водоснабжения в маловодном восточном Оренбуржье

Т.В. Леонтьева

Институт экологических проблем гидросферы при Оренбургском государственном университете

460058, Оренбург, пр. Победы, 13. E-mail: tvleon@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 2 сентября 2019 г.)

Восточное Оренбуржье обладает ценными минерально-сырьевыми ресурсами, огромными площадями земель с ценным генофондом растительного и животного мира. Острый дефицит вод питьевого качества препятствует их освоению, поэтому нами предложена новая технология восполнения запасов подземных вод за счет частично аккумулируемых ультрапресных паводковых вод. С помощью моделирования доказано, что таким путем можно получить воды питьевого качества.

Ключевые слова: *восполнение водных ресурсов, защищенность природных вод от загрязнения и истощения, аккумуляция водного стока.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.59

### Постановка проблемы водообеспечения населения региона

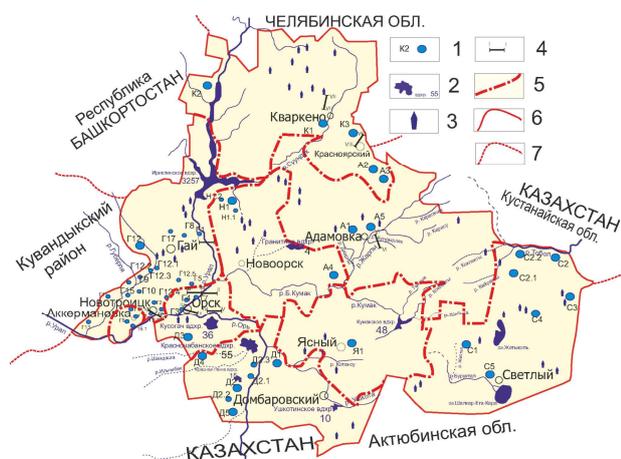
Разработке и использованию богатейших минеральных ресурсов в Восточном Оренбуржье препятствует резкий дефицит вод, особенно питьевого качества. Ситуация обостряется из-за их некондиционного химического состава. Исключительная важность водохозяйственных проблем систематически отмечается в докладах и постановлениях правительства Оренбургской области. Особенно активно этот вопрос поднимается в настоящий период. Объем финансирования областной целевой программы «Обеспечение населения Оренбургской области питьевой водой» на 2011–2016 гг. за счет средств областного бюджета составил 2 434 683 тыс. руб. На 2019–2024 гг. правительством Оренбургской области 29.12.2018 утверждена государственная программа по повышению качества питьевой воды с объемом бюджетных ассигнований 5449451,4 тыс. руб.

Из государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области в 2018 году» следует, что для питьевой воды региона характерны высокая жесткость (10–20 мг-экв/л), повышенная минерализация и содержание железа, хлоридов, сульфатов и

марганца. В водах сельских районов распространены повышенные концентрации нитратов из-за близости к водозаборам выгребных ям и животноводческих построек. Употреблением воды не питьевого качества вызваны заболевания органов кровообращения, пищеварения, эндокринной системы, мочевыводящих путей. Главной причиной назван низкий уровень внедрения современных технологий. От обеспечения населения питьевой водой «зависит дальнейшее улучшение санитарно-эпидемиологического благополучия» (Государственный доклад..., 2019, с. 238).

В соответствии с этим заключением мы предлагаем внедрять в Восточном Оренбуржье новые технологии magazинирования части паводкового стока в коллекторах аллювиального водоносного горизонта, закарстованных известняков и мезозойских кор выветривания. Эти коллекторы, с учетом конкретных гидрогеологических условий, можно использовать как по отдельности, так и совместно. С технико-экономических позиций такие технологии наиболее целесообразно реализовывать вблизи существующих водохранилищ или водоемов, где уже создан подпор водного потока или его можно создать. Водоснабжение исследуемой территории выполняется в основном за счет аллювиальных вод в бассейне р. Урал. Важнейшие

из водозаборов показаны на рис. 1. Крупнейшие из них эксплуатируются в Гайском административном районе.

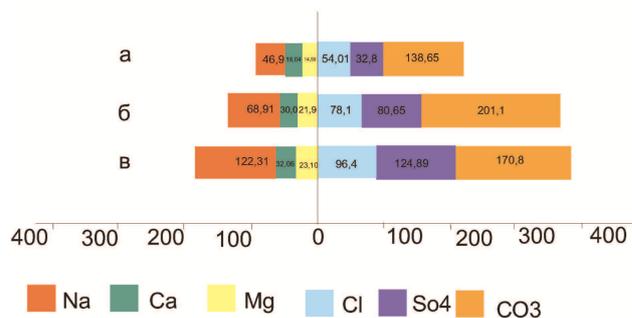


**Рис. 1.** Водные объекты на исследуемой территории: 1 – водозаборы; водохранилища: 2 – крупные и 3 – мелкие. Границы: 4 – административных районов; 5 – территории исследования

Подъем уровня воды на водотоке всего на 2–4 м усиливает инфильтрацию паводковых, ультрапресных вод в подземный резервуар с жесткой некондиционной водой. Паводковая вода образуется при таянии снега и тоже некондиционная из-за очень низкой минерализации. Дефицит в ней кальция вызывает у населения болезни сердечно-сосудистой системы. Использование минерализованных и жестких подземных вод обусловило развитие заболеваемости внутренних органов, прежде всего почек и печени. При смешении формируется вода питьевого качества (рис. 2).

Радиоактивность и наличие в воде радона в регионе начали контролировать только в последние годы, хотя в соседних районах Челябинской области и в Башкортостане в аналогичных условиях радоновые воды не только давно известны, но и широко используются в бальнеологии. Слаболечебными считаются воды с концентрациями радона 185–1480 Бк/л. Средние концентрации лечебных вод – 1481–2960, а сильные – 2961–44400 Бк/л (Иванов, 1996, Сердюкова, 1975, Титов, 1992).

Радон ошибочно считается одним из самых редких радиоактивных элементов, но его супертоксичность установлена давно.



**Рис 2.** Химический состав вод аллювиального водозабора в северной части степной зоны, в пос. Светлый (мг/л). Гидродинамические зоны: а) аэрации; б) сезонных колебаний уровня грунтовых вод; в) постоянного горизонтального стока

В естественных условиях именно радон определяет уровень радиационного фона планеты. Он на 90 % связан с гранитами и гранитоидами, которые в геологическом строении Восточного Оренбуржья играют ведущую роль. Радон сорбируется и битуминозными породами. Этот газ хорошо растворим в воде, а при росте температуры легко из нее выделяется в атмосферу и часто накапливается в квартирах, представляя опасность в кухонных помещениях как в составе питьевой воды, так и кухонного воздуха. Радон постоянно влияет на экологические системы, здоровье человека и биосферу, включая ее эволюцию. Хотя радон является инертным газом и сам по себе не накапливается в организме, негативное воздействие осуществляется токсичными продуктами его радиоактивного распада. Наиболее опасными из них являются  $^{210}\text{Po}$  и  $^{211}\text{Bi}$ . Они захватываются организмом, оседая на аэрозолях. Так, каждый житель Швеции, в геологическом строении территории которой также ведущую роль играют гранитоиды, получает от естественного распада радона дозу облучения в 500 раз выше, чем от атомных электростанций (Эйхлер, 1993).

Перед новыми технологиями, которые необходимо разрабатывать и внедрять в водохозяйственное производство Восточного Оренбуржья, стоят очень непростые задачи: более рационально использовать элементы водного баланса и обеспечивать питьевое качество вод. Поскольку основное количество водного стока связано с весенним поло-

водьем, то задача заключается в частичной аккумуляции этого стока.

С давних времен эта задача решается путем создания искусственных водоемов. Но воды этих водоемов ультрапресные, легко загрязняются и не отвечают санитарным требованиям. При магазинировании их легче защитить от загрязнения и осолонения. Натурные и лабораторные исследования свидетельствуют о возможности добиться питьевого качества вод при смешении и взаимодействии ультрапресных поверхностных и минерализованных подземных вод.

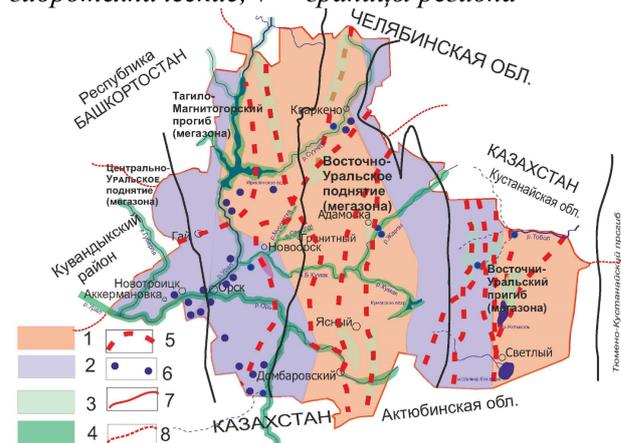
### О развитии процессов загрязнения и осолонения и защите подземных вод питьевого качества

Формирование химического состава природных вод региона осложнено не только естественно-историческими, но и техногенными факторами. В естественных условиях водный сток уменьшается, а минерализация вод растет с севера на юг от лесостепной ландшафтно-климатической зоны к полупустыням Казахстана. Высотная поясность осложняет процессы формирования вод и их химического состава. Еще более осложняют ситуацию промышленные и сельскохозяйственные источники загрязнения (рис. 3), а также реликты морского солевого комплекса в породах морского происхождения и процессы вторичного засоления почв и грунтов.

Нами выполнена схема типизации территории по защищенности подземных вод от загрязнения и осолонения (рис. 4). На схеме выделено пять типов районов: 1 – хорошо защищенных от загрязнения, с мощностью покровных слабопроницаемых (с  $K_f < 0,01$  м/сут.) отложений до 20 м; 2 – защищенных от загрязнения, с пониженной проницаемостью (с  $K_f < 0,5$  м/сут.) и мощностью покровных отложений до 10 м; 3 – не защищенных от загрязнения с повсеместным развитием покровных, недостаточно проницаемых (с  $K_f < 5$  м/сут.) отложений с мощностью до 5 м; 4 – зоны сосредоточения поверхностных и подземных аллювиальных вод, весьма не защищенных от загрязнения; 5 – зоны сосредоточения вод трещинного типа. Прочие знаки: 6 – скважины с дебитом  $D \geq 0,3$  л/с преимущественно в аллювиальных отложениях; 7 – граница региона



**Рис.3.** Источники загрязнения природных вод и окружающей среды в Восточном Оренбуржье: 1 – урбанизированные территории; 2 – геотехнологические (месторождения полезных ископаемых); 3 – энергетические с ТЭЦ, ЛЭП, 4 – транспортные: а – железные дороги, б – автомобильные дороги регионального значения, в – продуктопроводы; 5 – сельскохозяйственные: а – агротехнические, б – зоотехнологические; 6 – гидротехнические; 7 – границы региона



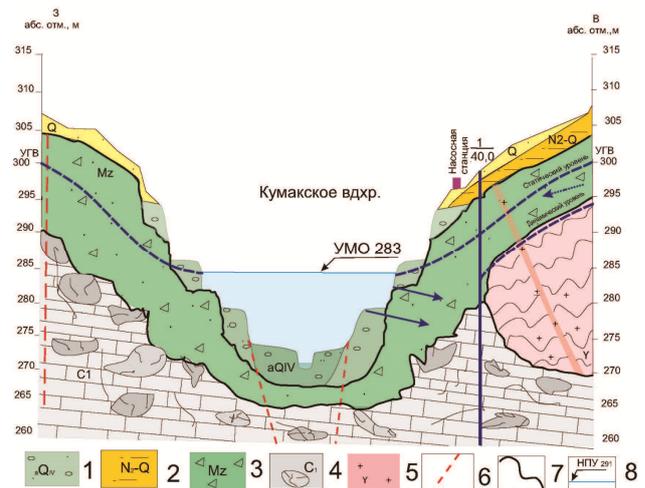
**Рис. 4.** Схема типизации подземных вод по защищенности от загрязнения (составлена нами с использованием методики А.Я. Гаева и др. (2018)). Типы районов: 1 – очень хорошо защищенные от загрязнения, с большой мощностью покровных слабопроницаемых (с  $K_f < 0,01$  м/сут.) отложений (до 20 м); 2 – защищенные от загрязнения с мощностью покровных отложений до 10 м, с пониженной проницаемостью (с  $K_f < 0,5$  м/сут.); 3 – не защищенные от загрязнения с повсеместным развитием покровных отложений мощностью до 5 м, недостаточно проницаемых (с  $K_f < 5$  м/сут.); 4 – зоны сосредоточения поверхностных и подземных аллювиальных вод, весьма не защищенных от загрязнения; 5 – зоны сосредоточения вод трещинного типа. Прочие знаки: 6 – скважины с дебитом  $D \geq 0,3$  л/с преимущественно в аллювиальных отложениях; 7 – граница региона

Эта схема использована нами при планировании и проектировании новых сооружений и коммуникаций и построении схемы рекомендуемого размещения производительных сил Восточного Оренбуржья (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема рекомендуемого размещения производительных сил. Территория Восточного Оренбуржья (составлена нами по методике А.Я. Гаева (2019)). Трудоемкость подготовки площадей к использованию: 1 – минимальная, ограниченная планировкой (срезкой) и локализацией поверхностного стока; 2 – относительно не затратная на планировку и локализацию поверхностного стока; 3 – значительная на планировку (срезку) и локализацию поверхностного стока, с ограничениями на использование; 4 – очень значительная, только с водохозяйственным использованием; 5 – граница территории исследований

Ведущим звеном в новой водохозяйственной технологии служат мероприятия по восполнению запасов подземных вод за счет аккумуляции части паводкового стока, а приведенные выше схемы позволяют совместно с системой мониторинга разработать мероприятия по их защите от загрязнения и истощения. На примере фрагмента по району Верхне-Кумакского водохранилища попытаемся раскрыть суть предлагаемых рекомендаций. Долина р. Кумак в области верхнего и среднего течения имеет ящикообразный поперечный профиль. В долине р. Кумак выделены четыре аккумулятивные и одна эрозионная террасы (рис. 6). Низкая пойма шириной до 1,5 м имеет ограниченное распространение, а высокая – 3–3,5 м – развита на всем протяжении реки. Первая надпойменная терраса высотой 5,5–6,0 м распростра-



**Рис. 6.** Схема взаимосвязи водоносного горизонта с водами Кумакского водохранилища. Водоносные горизонты: 1 – четвертичный аллювиальный песчано-гравийно-галечный с прослоями суглинков; 2 – неоген-четвертичный аллювиально-делювиально-пролювиальный песчано-суглинистый; 3 – мезозойской коры выветривания; 4 – трещинно-карстовых вод ниже-каменноугольных известняков с карстовыми формами и поверхностью несогласия в кровле; 5 – трещинных вод варисских гранитоидов с поверхностями несогласия в подошве и кровле; 6 – зона тектонических и неотектонических нарушений; 7 – зона несогласного залегания пород, осложненная последующими тектоническими и неотектоническими движениями; 8 – уровень максимального объема сработки вод, УМО (уровень мертвого объема); 9 – направление движения вод при естественном (а) и нарушенном (б) режимах

нена повсеместно. Вторая надпойменная терраса высотой 10–11 м хорошо выражена у г. Новоорска и в 20 км ниже по течению от пос. Кумакский. Четвертая эрозионная надпойменная терраса находится на высоте 23–27 м от уреза воды в реке и выражена на всем своем протяжении.

Исходные гидрогеологические параметры планируемых водозаборных скважин предложены нами на основе анализа результатов исследований оренбургских изыскателей (таблица) (Цветкова, 2015; Шевцова, 1996; Шевцова, 1999). Расход воды, фильтрующейся к водозаборной скважине из водохранилища через поперечное сечение породы в единицу времени при УМО = 283 м, рассчитан по формуле Дюпюи

$$Q = \frac{1,36k(2h - s)s}{\lg R - \lg r} = \frac{1,36 \cdot 15(2 \cdot 10 - 5) \cdot 5}{\lg 100 - \lg 0,15} = \frac{1530}{2,0} = 546,420 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации, м/сут.;  $h$  – мощность водоносного пласта, м;  $S$  – допустимое понижение уровня в скважине, м;  $R$  – радиус влияния скважины, м;  $r$  – радиус скважины, м.

Исходные гидрогеологические параметры планируемых водозаборных скважин у водохранилища

Параметры	Условные обозначения и единицы измерения	Значения параметров
Мощность водоносного горизонта	$h$ , м	10,0
Коэффициент фильтрации	$K_f$ , м/сут.	15,0
Длина линейного ряда	$\ell$ , м	300
Расстояние от ряда скважин до контура постоянного напора	$L$ , м	50,0
Расстояние между скважинами	$\lambda$ , м	50,0
Радиус скважины	$r$ , м	0,15
Уклон реки Кумак	$I_p$	0,001
Допустимое понижение уровня	$S_{\text{доп}}$ , м	5,0
Гидравлический градиент	$I$	0,05

$$R = 2\sqrt{hK} = 2 \cdot \sqrt{10 \cdot 10} = 100 \text{ м.}$$

Таким образом, дебит одной из двух проектных скважин при УМО и минимальной мощности водоносного горизонта составит 546,43 м<sup>3</sup>/сут., двух скважин – 1092,86, а за год – 398892 м<sup>3</sup>/сут.

Расход воды, фильтрующейся через поперечное сечение породы в единицу времени из водохранилища к водозабору при нормальном подпорном уровне воды в водохранилище ( $НПУ = 291$ ) и соответственно увеличивающейся при подпоре мощности водоносного горизонта составит:

$$Q = \frac{1,36K(2h - S)}{lgr - lgr} = \frac{1,36 \cdot 15(2 \cdot 10 - 6,5) \cdot 6,5}{lgr - lgr} = \frac{2506}{2,8} = 923,46 \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации, 15 м/сут.;  $h$  – мощность водоносного пласта, 10 м;  $S$  – допустимое понижение уровня в скважине, 6,5 м;  $R$  – радиус влияния скважины, 100 м;  $r$  – радиус скважины, 0,15 м.

Таким образом, дебит одной из двух проектных скважин при нормальном подпорном уровне воды в водохранилище ( $НПУ = 291$ )

и максимальной мощности водоносного горизонта составит 923,46 м<sup>3</sup>/сут., двух скважин – 1846,93 м<sup>3</sup>/сут., а за год – 674128,7 м<sup>3</sup>/год.

Строительство водозаборных скважин возле Кумакского водохранилища может полностью обеспечить население г. Ясный и пос. Светлый водой питьевого качества.

### Библиографический список

Гаев А.Я. Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. Ч. II. Экологические проблемы: учеб. пособие / А.Я. Гаев, М.А. Тихоненко, Ю.А. Килин, И.В. Куделина, Т.В. Леонтьева; под общ. ред. А.Я. Гаева. М.: Университетская книга, 2018. 200 с.

Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области в 2018 году»/ Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области. Оренбург, 2019. 241 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник в 6 кн. /под ред. Э.К. Буренкова. М.: Недра, 1996. Кн. 3. Редкие р-элементы. 352 с.

Постановление «Об утверждении схемы водоснабжения и водоотведения пос. Светлый Светлинского района Оренбургской области» от 26.12.2013 № 186-п. Светлый, 2013. 30 с.

Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Е. Изотопы радона и продукты их распада в природе. М.: Атомиздат, 1975. 312 с.

Титов В.К., Лашков Б.П., Черник Д.А. Экспрессные определения радона в почвах и зданиях. СПб., 1992. 37 с.

Цветкова Н.В., Зацепина А.А. Аналитический обзор состояния недр территории Оренбургской области. Оренбург: Компания вотемиро, 2015. 138 с.

Шевцова Л.Ф., Бакторова Н.И. Дополнение и корректировка материалов I и II этапов работы «Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (Оренбургская область)». Нежинка, 1999. 196 с.

Шевцова Л.Ф., Кленкин Г.Ф., Луговая Т.А. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (Оренбургская область). II этап: отчет Оренбургской гидрогеологической партии. Нежинка, 1996. 244 с.

Эйхлер В. Яды в нашей пище: пер. с нем. М.: Мир, 1986. 202 с.

# Improvement of Water Supply in Dry Eastern Orenburzhye

T. V. Leonteva

Institute of ecological problems of the hydrosphere at the Orenburg State University

13 Pobedy Ave., Orenburg. 460058, Russia. E-mail: tvleon@mail.ru

Eastern Orenburg region has the valuable mineral resources, huge areas of land with a valuable gene pool of flora and fauna. Acute shortage of drinking water prevents their development and use. Given that the bulk of water flow (80-95 %) is associated with short-term spring flood, it is proposed to introduce a new technology to replenish groundwater reserves with partially accumulated ultra-fresh flood waters. It is proved experimentally and by modeling that when flood water is mixed with mineralized groundwater in an aquifer the drinking quality water is formed.

Key words: *water resources; protection of natural waters; accumulation of water flow.*

## References

- Gaev, A. Ya.* Hidrogeokhimiya Urala i voprosy okhrany podzemnykh vod [Hydrogeochemistry of the Urals and the issues of groundwater protection] Publishing House Ural Univ., Sverdlovsk, p. 368. (in Russian)
- Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Orenburgskoy oblasti v 2018 godu».* [State report "On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Orenburg region in 2018"]. Upravleniye Federalnoy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka po Orenburgskoy oblasti. Orenburg, 2019, p. 241. (in Russian)
- Ivanov V. V.* 1996. Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kniga 3. Redkie elementy [Ecological Geochemistry of elements. Book 6. Rare elements]. E. K. Burenkov Ed. Nedra, Moskva, pp. 339-347. (in Russian)
- Postanovleniye «Ob utverzhdenii skhemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya p. Svetlyy Svetlinskogo rayona Orenburgskoy oblasti* [Resolution "On approval of the scheme of water supply and sanitation p. Svetly Svetlinsky district of Orenburg region"]. dated 26.12.2013 g № 186-p, - Svetlyy, 2013. P. 30. (in Russian)
- Serdyukov A.S.* 1975. Izotopy radona i produkty ikh raspada v prirode [The isotopes of radon and their decay products in nature]. Atomizdat, Moskva, p. 312. (in Russian)
- Titov V. K.* 1992. Ekspressnyye opredeleniya radona v pochvakh i zdaniyakh [Express testing of radon in soils and buildings]. V.K. Titov, B.P. Lashkov, D.A. Chernik Eds. VIRG, SPb., p. 37. (in Russian)
- Tsvetkova N.V.* 2015. Analiticheskiy obzor sostoyaniya neдр territorii Orenburgskoy oblasti [Analytical review of mineral resources of the territory of the Orenburg region]. N.V. Tsvetkov, A.A. Zatsepin Eds. Orenburg, p. 138. (in Russian)
- Shevtsova L.F.* 1999. Dopolneniye i korrk-tirovka materialov I i II etapov raboty «Otsenka obespechennosti naseleniya Rossiyskoy Federatsii resursami podzemnykh vod dlya khozyaystvenno-pityevogo vodosnabzheniya (Orenburgskaya oblast)» [Addition and adjustment of materials I and II stages of the work "Evaluation of security of population of the Russian Federation resources of underground water for drinking in the water supply (Orenburg region)"]. L.F. Shevtsova, N. A. Bacharova Eds. Nezhinka, p. 196. (in Russian)
- Shevtsova L.F.* 1996. Otsenka obespechennosti naseleniya Rossiyskoy Federatsii resursami podzemnykh vod dlya khozyaystvenno-pityevogo vodosnabzheniya (Orenburgskaya oblast) II etap» ["Evaluation ensured the accuracy of population of the Russian Federation resources of underground waters for economic water supply (Orenburgskaya oblast), phase II."]. Otchet Orenburgskoy gidrogeologicheskoy partii. Nezhinka, p. 244. (in Russian)
- Eichler V.* 1986. Yady v nashey pishche [Poisons in our food]. TRANS. Mir, Moskva, p. 202. (in Russian)