

## **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СОЛЕННОГО ОЗЕРА**

*Людмила Константиновна Радченко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

*Анна Владимировна Троеглазова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор философии, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (923)254-06-87, e-mail: troeglasovaa@mail.ru

*Дмитрий Александрович Тужик*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, обучающийся, тел. (923)254-06-87, e-mail: buster9@bk.ru

Экологическое картографирование позволяет проводить анализ экологической ситуации и ее изменчивости во времени и пространстве. Для достижения этой цели необходимо выполнить сбор, анализ и интерпретацию информации о факторах природной среды, влияющих на здоровье человека и экосистемы, а также создать географически корректное картографическое представление на основе полученной экологической информации. Картографический метод исследования позволяет наглядно понять степень загрязнения химическими элементами поверхностных вод.

Объектом исследования является соленое озеро, расположенное в Аягозском районе на границе Восточно-Казахстанской и Алматинской областей. Пробы поверхностных вод были отобраны на трех станциях водоема в разные времена года. С помощью картографического моделирования были сделаны выводы о пространственно-временной изменчивости содержания ионов стронция, бора, алюминия и лития в соленых водах.

**Ключевые слова:** экологическое картографирование, загрязнение поверхностных вод химическими элементами, методика создания экологических карт.

## **A MAPPING OF SEASONAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATERS OF THE SALT LAKE**

*Lyudmila K. Radchenko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

*Anna V. Troeglazova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special-Purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (923)254-06-87, e-mail: troeglasovaa@mail.ru

*Dmitry A. Tajik*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (923)254-06-87, e-mail: buster9@bk.ru

Ecological mapping allows to analyzing the ecological situation and its spacio-temporal variability. To achieve this goal, it is necessary to collect, analyze and interpret information on environmental factors affecting human health and ecosystems, as well as to create a geographically correct cartographic representation based on the obtained environmental information. Cartographic research method allows clearly understanding the degree of contamination of surface water by chemical elements.

The object of the study is a salt lake located in Ayagoz district on the border of East Kazakhstan and Almaty regions. Surface water samples were taken at three stations of the reservoir at different times of the year. With the help of cartographic modeling, conclusions were made about the change in the spatio-temporal variability of the content of strontium ions, boron, aluminum and lithium in salt waters.

**Key words:** ecological mapping, pollution, surface waters, chemical elements, method of creation of ecological maps.

### *Введение*

Экологическое картографирование позволяет проводить анализ экологической ситуации и ее изменчивости во времени и пространстве. Для достижения этой цели необходимо выполнить сбор, анализ и интерпретацию информации о факторах природной среды, влияющих на состояние экосистемы, а также создать географически корректное картографическое представление на основе полученной экологической информации. Кроме того, проведение экологического картографирования водоемов применимо при изучении путей миграции химических элементов в природных водах, выявлении экологически опасных зон, характеризующихся превышением установленных предельно допустимых концентраций, и изучении зависимости состава поверхностных вод от состава горных пород.

Условия накопления химических элементов в поверхностных водах соленых озер, несмотря на большое количество опубликованных работ [1–5], по-прежнему остаются невыясненными в полной мере. Состав поверхностных вод не постоянен в течение года и зависит от температуры поверхностных вод, кислотности водной фаз, особенностей химического состава горных пород [1–6].

Цель работы заключается в разработке картографического материала на основании результатов аналитического контроля содержания ионов металлов в природных водах соленого озера.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести химический анализ образцов поверхностной воды в течение одного календарного года и на различных станциях водоема;
- выбрать способ для картографического отображения экологических данных;
- сделать вывод об экологическом состоянии водоема.

## Методы и материалы

Образцы поверхностных вод были отобраны в соленом озере, расположенном в Аягозском районе на границе Восточно-Казахстанской и Алматинской областей (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение исследуемого объекта

Выбор объекта обусловлен близостью Актогайского месторождения, строение которого представлено на рис. 2.

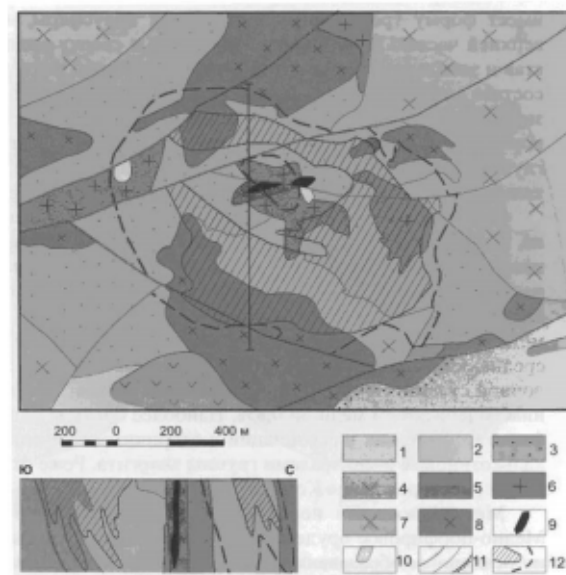


Рис. 2. Геологическое строение месторождения Актогай:

1 – песчаники, гравелиты с прослоями туфов липаритов и дацитов колдарской свиты; 2 – туфы дацитов и андезит-дацитов керегетасской свиты; 3 – роговики и ороговикованные порфириты и туфы керегетасской свиты; 4 – штоко- и дайкообразные тела андезит-дацитовых порфиритов; 5–8 – гранитоиды, диориты и габбро-диориты Колдарской интрузии; 9 – тела брекчий на турмалинизированном цементе; 10 – кварцевые тела; 11 – контакты тектонические, интрузивные и несогласные; 12 – границы рудных тел и рассеянной рудной минерализации

По геолого-промышленному типу Актогайское месторождение относится к медно-порфировым месторождениям, характеризующимся однотипным минеральным составом (пирит, халькопирит, молибденит, халькозин, борнит) и содержанием рудных компонентов в широком концентрационном диапазоне [7]. Запасы месторождения можно отнести также к полиметаллическим рудам медно-алюмосиликатного типа [8].

Исследования включали в себя три этапа: первый – отбор проб поверхностных вод на трех станциях водоема и проведение химического анализа, второй этап – картографический метод исследования путем нанесения показателей на карту и третий – оценка гидрохимических характеристик соленого озера на основании готового картматериала.

Первый этап. Гидрохимические образцы отбирали на трех станциях: станция 1 – северная часть озера; станция 2 – восточная часть озера; станция 3 – южная часть озера. Образцы поверхностных вод отбирали в течение 1 календарного года на указанных станциях с резиновой лодки с помощью полиэтиленовой емкости вместимостью 1 дм<sup>3</sup>. Пробоотбор, пробоподготовку и транспортировку образцов осуществляли в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 31861–2012 [9].

Содержание ионов металлов в отобранных образцах определяли в соответствии с требованиями СТ РК ИСО 17294-1–2011 [10] на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500 сх.

### *Результаты и их обсуждение*

Первый этап – результаты химического анализа отобранных образцов.

На основании предварительных исследований было установлено преобладающее содержание в образцах поверхностных вод соленого озера ионов стронция, бора, алюминия и лития, поэтому в работе приведены результаты аналитического контроля содержания указанных ионов в отобранных образцах (таблица).

Содержание ионов указанных металлов незначительно (менее чем в 10 раз) превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [11]. Микрокомпонентный катионный состав исследуемых поверхностных вод предопределен металлогенической продуктивностью региона – близостью залегания медно-молибденитовых алюмосиликатных пород [12, 13].

Второй этап – составление карты загрязнения поверхностных вод. Первоначально создавалась общегеографическая основа путем векторизации космического снимка, размещенного на сайте Kosmosnimki.ru (рис. 3) [14].

Рельеф был построен методом интерполяции данных (способ горизонталей), полученных с топографической карты и нанесения послойной окраски. Для нанесения данных на карту в виде локализованных диаграмм были использованы результаты химического анализа образцов поверхностных вод (таблица). Именно этот способ картографического отображения применяется для отображения информации, привязанной к определенным точкам на карте (станции-

ям или пунктам, в которых ведутся наблюдения за картографируемым явлением) [15].

### Результаты химического анализа образцов поверхностных вод

Сезон	рН, ед.	Номер станции пробоотбора	Содержание ионов металлов, мкг/мл			
			Sr	B	Al	Li
Весна	8,53	Станция 1	1,5510	0,8473	0,1410	0,0868
		Станция 2	1,4810	0,9412	0,7759	0,0892
		Станция 3	1,5160	0,7885	0,0780	0,0828
		<b>Среднее по водоему</b>	<b>1,5160</b>	<b>0,8590</b>	<b>0,3316</b>	<b>0,0863</b>
Лето	8,29	Станция 1	1,3960	1,3230	0,2213	0,0915
		Станция 2	1,4250	1,1270	0,2135	0,0897
		Станция 3	1,4570	1,2780	0,3654	0,0842
		<b>Среднее по водоему</b>	<b>1,4260</b>	<b>1,2430</b>	<b>0,2667</b>	<b>0,0885</b>
Осень	7,91	Станция 1	1,6157	1,5000	0,2168	0,1100
		Станция 2	1,3730	1,1960	0,2426	0,1175
		Станция 3	1,5180	1,4010	0,3387	0,0927
		<b>Среднее по водоему</b>	<b>1,5022</b>	<b>1,3657</b>	<b>0,2660</b>	<b>0,1067</b>
Зима	8,03	Станция 1	1,7850	1,5800	0,2611	0,1313
		Станция 2	1,4440	1,2850	0,2811	0,1456
		Станция 3	1,6320	1,4610	0,3120	0,0992
		<b>Среднее по водоему</b>	<b>1,6203</b>	<b>1,1087</b>	<b>0,2847</b>	<b>0,1254</b>

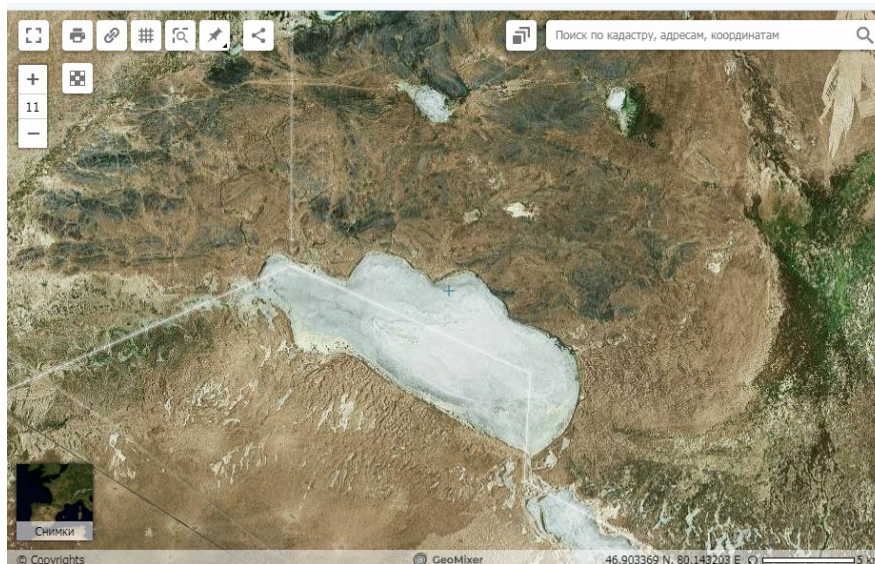


Рис. 3. Снимок картографируемого объекта

Далее необходимо было построить непрерывную шкалу концентраций для вычисления высоты столбца диаграммы. Для этого использовалась следующая формула:

$$X = \frac{C_x \cdot h_{\max}}{C_{\max}},$$

где  $X$  – искомая высота столбца для данной концентрации химических элементов;

$C_x$  – концентрация искомого элемента;

$h_{\max}$  – максимальная высота столбца для максимальной концентрации химических элементов;

$C_{\max}$  – максимальная концентрация химических элементов.

Локализованную диаграмму строили в декартовой системе координат (рис. 4), где ось абсцисс – показатель концентрации, а ось ординат – высота столбцов.

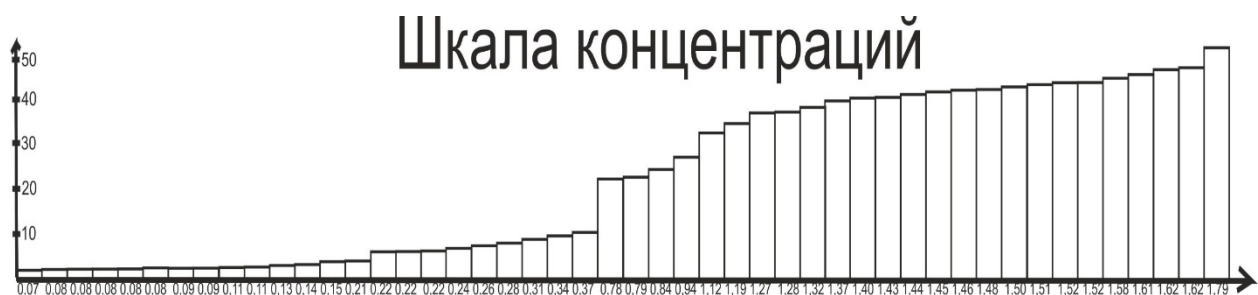


Рис. 4. Шкала концентраций химических элементов

Высота столбца находится в прямой зависимости от концентрации определяемого элемента. Расстояния между каждым значением концентрации было постоянным. Так, картографируемые показатели с помощью шкалы, были нанесены в место соответствующей станции, на определенный сезон года (рис. 5, 6).

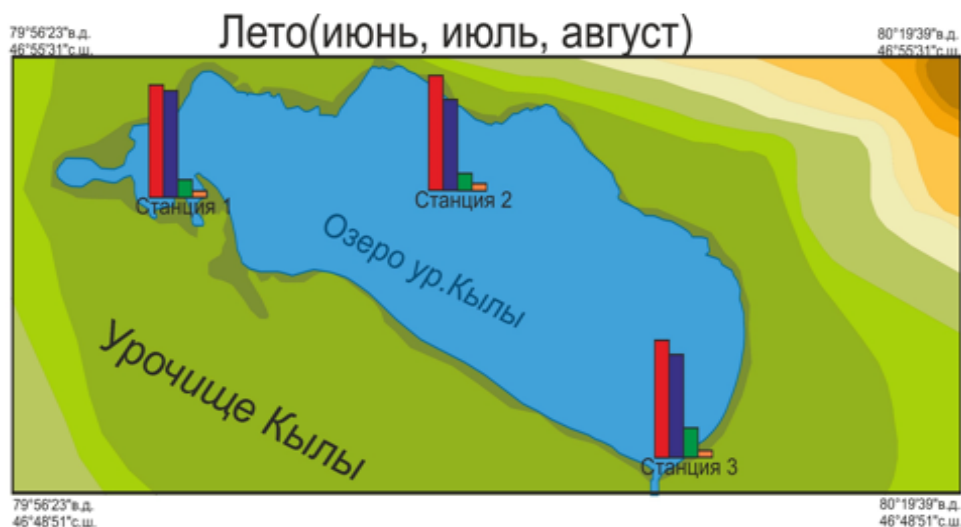


Рис. 5. Отображение химических элементов в период лета

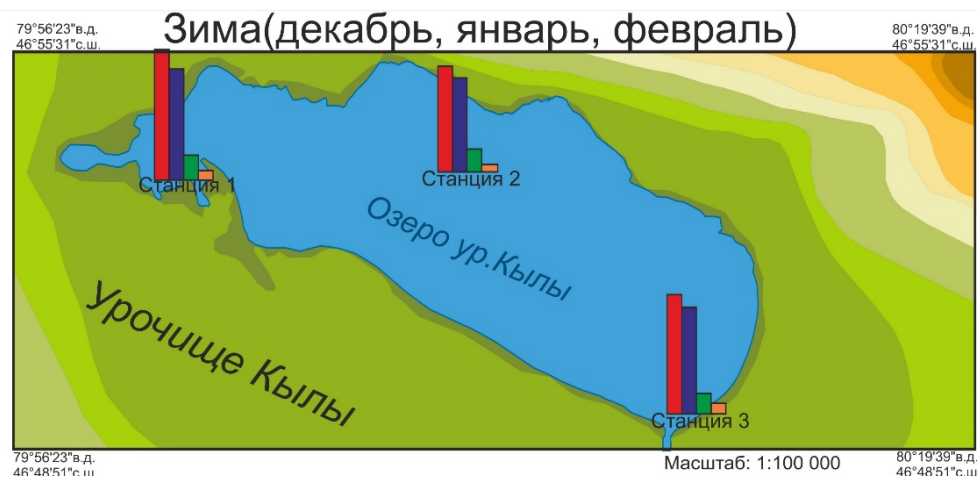


Рис. 6. Отображение химических элементов в период зимы

После того как локализованные диаграммы были нанесены по соответствующим станциям на карту, оформлялась легенда и зарамочное оформление карты. Цвет для отображения химических элементов выбирали произвольным путем, но так, чтобы карта была наглядной (рис. 7).



Рис. 7. Фрагмент условных обозначений

После обеспечения хорошей читаемости карты, было принято решение построить дополнительную шкалу общей солености воды на всех станциях по всем сезонам года. Данная шкала позволяет анализировать зависимость солености поверхностных вод от сезона года (рис. 8). Далее разрабатывали компоновку карты, т. е. взаимное расположение всех ее элементов.

Третий этап – оценка гидрохимических характеристик соленого озера

Представленные на рис. 5, 6 карты позволяют провести анализ пространственно-временной динамики изменения концентраций стронция, бора, алюминия и лития в поверхностных водах соленого озера, что в дальнейшем может быть использовано для анализа экологической обстановки водоема.

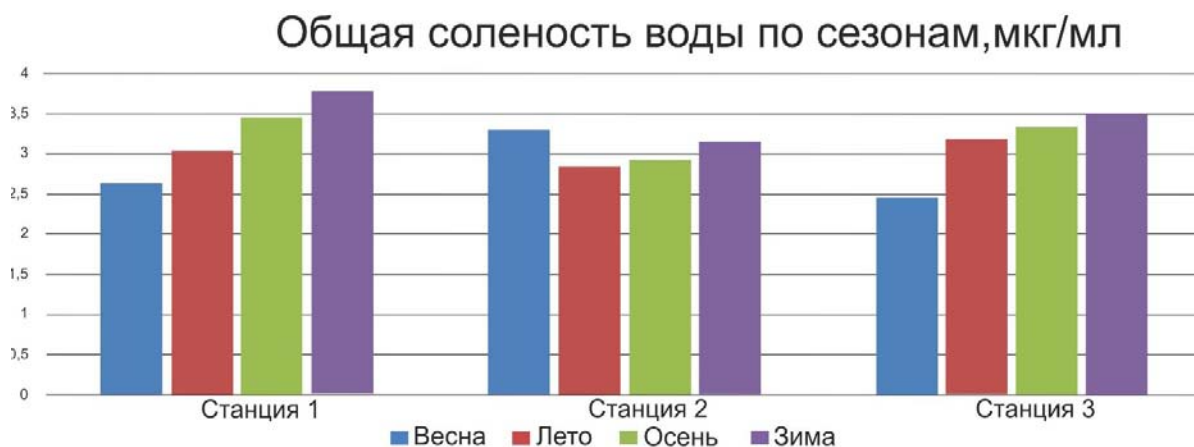


Рис. 8. Шкала общей солености воды

В исследуемых образцах содержание стронция в течение календарного года варьировалось в диапазоне 1,3960–1,7850 мкг/мл (см. таблицу, рис. 5, 6), относительно высокие концентрации стронция являются особенностью хлоридно-натриевых поверхностных вод. Отмечено понижение концентрации аналита в летний период с последующим монотонным ростом. Снижение концентрации в период повышения температуры воды может быть обусловлено осаждением микроэлементов за счет выпадения в осадок малорастворимых соединений из пересыщенного раствора с солями и глинистыми минералами [16, 17].

Бор в состав поверхностных соленых вод может поступать из осадочных пород соленосных отложений. Наибольшее содержание ионов зафиксировано в осенний период. С увеличением значений рН среды наблюдается снижение концентрации ионов бора (см. таблицу, рис. 5, 6), что может быть обусловлено образованием малорастворимых комплексных солей с полуторными оксидами [17, 18].

Среднегодовое содержание алюминия в отобранных образцах составило  $(0,2873 \pm 0,0119)$  мкг/мл (см. таблицу, рис. 5, 6). В летний и осенне-зимний период концентрация ионов алюминия незначительно отличалась от среднегодового значения, однако зафиксировано небольшое повышение концентрации для проб, отобранных на станции 3. В весенний период зафиксировано изменение концентрации в широком диапазоне от 0,0780 до 0,7759 мг/дм<sup>3</sup>, что может быть обусловлено различной степенью растворения глин и алюмосиликатов при различной температуре и различии значения кислотности водной фазы [19, 20].

Содержание ионов лития изменялось в пределах 0,0828 – 0,1456 мкг/мл (см. таблицу, рис. 5, 6). На комплексообразование лития немалую роль оказывает содержание сульфатов и хлора в озерной воде, доля иона  $\text{LiCl}^-$  в соленых озерах хлоридного типа нередко достигает 40 %, доля  $\text{LiSO}_4^-$  в озерах сульфатного типа – 11 %. Установлено монотонное повышение концентрации ионов лития при переходе от весеннего периода к зимнему, что может быть обусловлено снижением растворимости некоторых солей с понижением температуры [17, 19].



## Заключение

Проведенное в работе картографирование результатов химического анализа поверхностных вод направлено на изучение пространственно-временных особенностей поведения ионов металлов в соленых водоемах, что в свою очередь является важнейшим этапом при выполнении природоохранных мероприятий. Полученные результаты могут быть применены при моделировании гидрохимических процессов, протекающих в соленых водоемах. Примененная методика создания картографического материала может распространяться не только на изучение свойств поверхностных вод, но и по отношению к подземным водам и почвам, при изучении процессов миграции ионов металлов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Banks D., Parnachev V.P., Frengestad B., Holden W., Karnachuk O. V., Vedernikov A. A. The evolution of alkaline, saline ground- and surface waters in the southern Siberian steppes // *Applied Geochemistry*. – 2004. – V. 19. – № 12. – P. 1905–1926.
2. Химический состав соленых озер северо-минусинской котловины, Хакасия / Н. В. Гусева, Ю. Г. Копылова, А. А. Хвощевская, И. В. Сметанина // *Изв. ТПУ*. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 163–168.
3. Овчинникова С. И., Широкая Т. А., Пашкина О. И. Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000–2011) // *Вестник МГТУ*. – Т. 15, № 3. – С. 544–550.
4. Водные ресурсы Ширинского района Республики Хакасия / под ред. В. П. Парначева. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1999. – 171 с.
5. Минеральные озера Республики Хакасия (общая характеристика и состав вод) / В. П. Парначев, И. И. Вишневецкий, Д. Бэнкс, Н. А. Макаренко, Ю. Г. Копылова, И. В. Сметанина, Н. В. Архипова, А. Л. Архипов // *Вопросы географии Сибири*. – 2003. – Вып. 25. – С. 118–135.
6. Голованова О. А., Маловская Е. А. Динамика загрязнения ионами тяжелых металлов поверхностных вод рек Сибирского региона // *Вестник Омского ун-та*. – 2016. – № 3. – С. 64–73.
7. Обзор рынка меди в странах СНГ (Казахстан, Узбекистан, Армения, Украина и пр.). – М., 2013 г.
8. Жумақынбай Н. Разработка технологии комплексной переработки медно-алюмосиликатных руд : дис. ... доктора философии (PhD). – Алматы, 2016. – 108 с.
9. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.
10. СТ РК ИСО 17294-1-2011. Качество воды Применение масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Часть 1: Общее руководство. – Астана, 2010. – 32 с.
11. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного назначения. – М., 2016.
12. Козлов Н. Е., Предовский А. А. Введение в геохимию : учеб. пособие по дисциплинам «Общая геохимия» и «Прикладная геохимия». – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2005. – 127 с.
13. Buck H. V. Toxicity heavy metals in the environment / Ed. by F. W. Ochme. – N.Y. : Basel : Dekker, 1978. – 357 p.
14. [www.kosmosnimki.ru](http://www.kosmosnimki.ru).
15. Радченко Л. К., Николаева О. Н. Основы тематической картографии. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 102 с.

16. Полякова Е. В. Стронций-содержащие воды юго-восточного беломорья и возможности их практического использования : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2005. – 25 с.
17. Формы нахождения металлов в природных водах в зависимости от их химического состава / Т. И. Моисеенко, М. И. Дину, Н. А. Гашкина, Т. А. Кремлева // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 4. – С. 375–385.
18. Гордеева И. Ю., Чернова С. П. Применение флуориметрического и фотометрического методов при создании образцов для контроля содержания бора в водах различного типа // Вестник Удмуртского ун-та. – 2013. – Вып. 2. – С. 16–21.
19. Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А. Распределение микроэлементов в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34, № 4. – С. 454–468.
20. Меринова О. М., Носкова Т. В., Ильина Е. Г. Аллювий в природных водах Верхней Оби // Известия Алт. гос. ун-та. – 2014. – С. 171–175.

© Л. К. Радченко, А. В. Троеглазова, Д. А. Тужик, 2019