

УДК 574:556(574.41)

**СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЫВШЕГО СЕМИПАЛАТИНСКОГО
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА)**

Торопов Андрей Сергеевич Студент,
Семипалатинский государственный педагогический институт, г. Семей
Научный руководитель – д.б.н., профессор Панин М.С.

Химический состав подземных вод является одним из важных аспектов изучения теоретических гидрогеологических и гидрогеохимических проблем, а также прикладных проблем, связанных с использованием подземных вод, с определением их влияния на экологическое состояние среды.

Изучение особенностей распределения химического состава подземных вод, закономерности миграции химических элементов в зависимости от генетических факторов (их происхождения) и региональных особенностей позволяет регистрировать результаты нежелательных трансформаций химического состава биосферы, вызываемых природными и

антропогенными факторами, следить за эффективностью мер, направленных на исправление замеченных отклонений от нормы.

Перспектива введения в хозяйственный оборот земель бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) ставит серьезную задачу для комплексного изучения возвращаемых в оборот территорий. Бывший СИЯП расположен на северо-востоке Казахстана (11 тыс. км²), в административном отношении частично входит в состав Восточно-Казахстанской области, где занимает площадь около 5,9 тыс.км². Одно из направлений подобного исследования – изучение водообеспеченности этих территорий и оценка пригодности для хозяйственно-бытового пользования имеющихся водных ресурсов. На рассматриваемой территории функционируют три горнодобывающих предприятия (Есимжал – добывают марганцевые руды, Каражал – добывают флюорит, Каражыра – добывают уголь). На востоке расположен активный динамичный объект, продукт деятельности СИЯП – озеро Атомколь. На юго-востоке расположены мелкие сельскохозяйственные пункты, где постоянно проживают люди – Саржал, Самай, Тайлан, на западе и юго-западе - Шибра, Есимжал, Мырза. Поэтому проведение мониторинга химического состава подземных вод, оценка и экологического качества весьма актуальна.

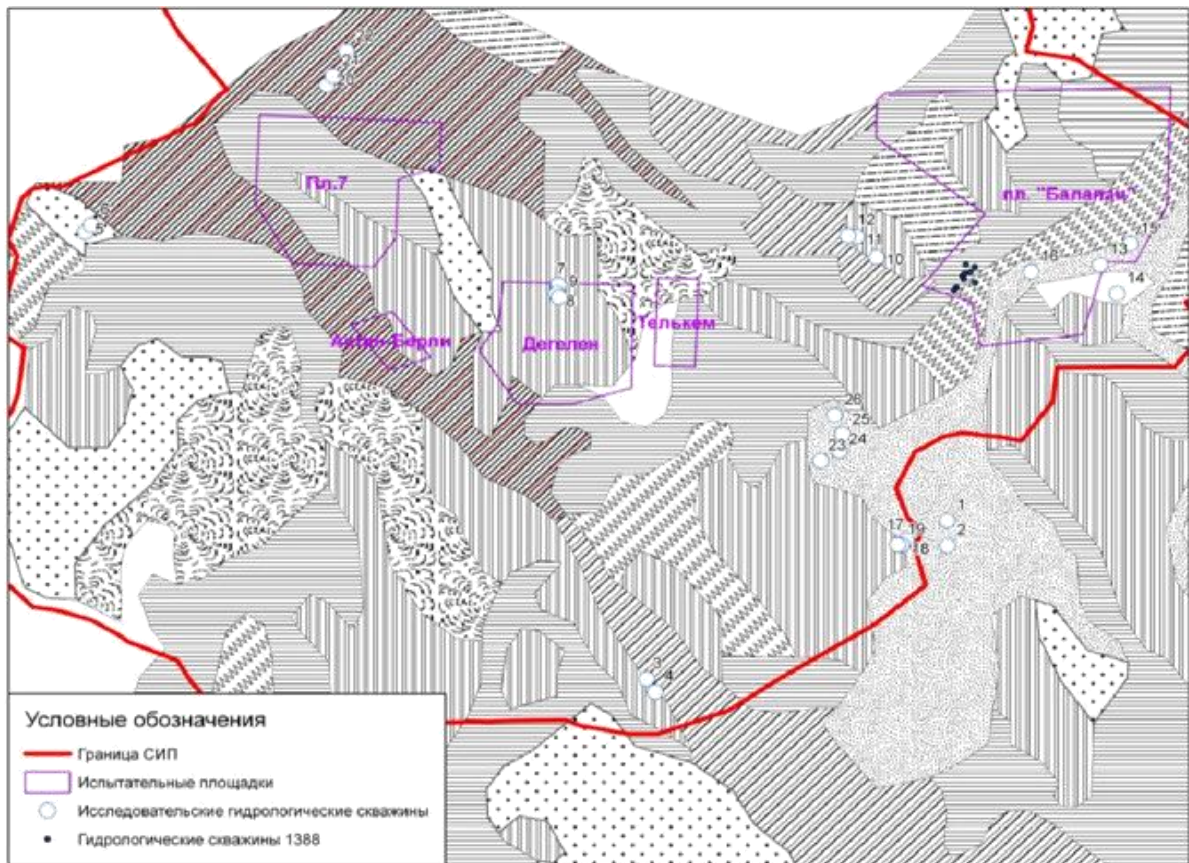
В геолого-структурном отношении территория СИЯП расположена на сочленении каледонского Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория и герцинского Жарма-Саурского мегасинклинория, структурно относящихся к Алтае-Чингизскому складчатому региону. Преимущественным распространением пользуются трещинные воды палеозойских и мезозойских пород, перекрытых на значительной площади прерывистым покровом водопроницаемых, но практически безводных делювиально-пролювиальных образований различных отделов четвертичного отдела.

Цель исследования – дать экологическую оценку химического состава по содержанию макро- и микрокомпонентов подземных вод основных гидрогеологических постов территории бывшего СИЯП.

Пробы подземных вод из наблюдательных гидрогеологических скважин отбирались при помощи специалистов ОАО «Семгидрогеология». Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ Р 51592-2000, ГОСТ Р 51593-2000, ИСО 5667-11, ИСО 5667-18. Общее количество проб составило 44.

Определение макро- и микрокомпонентного состава проводили согласно унифицированным методам анализа вод [1]. Статистическая обработка выполнена по Н.А. Плохинскому [2] с использованием программ STATISTICA и Microsoft Exsel.

На рисунке 1 показаны основные гидрогеологические посты бывшего СИЯП и распространение водовмещающих пород подземных вод.



	Водоносный горизонт верхнечетвертичных и современных аллювиальных отложений. Гравелисто-песчаные, гравелисто-галечные отложения, пески
	Водоносный горизонт верхнечетвертичных озерных отложений. Пески, супеси с прослоями и линзами суглинков и глин
	Водоносный горизонт плейстоцен-нижнечетвертичных отложений кулундской свиты. Разнозернистые пески, гравийно-галечники
	Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений. Гравийно-галечники, пески и прослоями и линзами супесей, суглинков
	Водоносный горизонт современных озерных отложений. Тонкозернистые илестые пески с маломощными линзами глин
	Водоносный горизонт средне- и верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений. Гравийно-галечниковые отложения, реке - пески, супеси
	Водоносный горизонт средне- и верхнечетвертичных озерно-аллювиальных отложений космалинской свиты. Разнозернистые пески, реке - гравелистые пески
	Водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиальных отложений. Гравийно-щебнистые и песчаные отложения с примесью крупной гальки
	Водонепроницаемые пестроцветные глины павлодарской свиты неогена
	Воды спорадического распространения ниже- и среднечетвертичных отложений краснодубровской свиты. Суглинки с прослоями и линзами песков, мощностью 5-7 м
	Воды спорадического распространения среднечетвертичных и современных делювиально-пролювиальных отложений. Суглики с дресвой и щебнем
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости девонских отложений. Порфириты, кварцевые порфириты, песчаники, конгломераты, прослой известняков
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости каменноугольных отложений. Песчаники, алевролиты, порфириты, прослой известняков
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости кембрийских отложений. Песчаники, сланцы, конгломераты, линзы известняков, алевролиты, реке - порфириты и их туфы
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости нерасчлененных среднепротерозойских и нижнекембрийских отложений. Яшмы, лесчаники, алевролиты, реке - туфобрекции, порфириты
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости палеозойских интрузий. Граниты, гранодиориты, диориты, грант-порфириты
	Подземные воды зоны открытой трещиноватости силурийских отложений. Порфириты, реке - песчаники, конгломераты
	Подземные воды открытой трещиноватости ордовикских отложений. Порфириты, порфиры и их туфы, реке - песчаники, конгломераты, прослой известняков
	Подземные воды открытой трещиноватости триасовых отложений. Порфириты, лесчаники, известняки, конгломераты
	Подземные воды открытой трещиноватости пермских отложений. Порфириты и их туфы, кварцевые порфириты, порфиры

Рисунок 1. Картограмма водовмещающих пород подземных вод бывшего СИЯП

Примечание: цифрами отмечены основные гидрогеологические скважины участков бывшего СИЯП: Саржал-1,2; Самай-3,4; Есимжал-5,6; Каражал-7,8,9; Каражыра-10,11,12; Атомколь-13,14,15,16; Мырза-17,18,19; Шубра -20,21,22; Тайлан-23,24,25,26.

В таблице 1 отражены данные о средних значениях макрокомпонентов и физико-химических параметров изученных подземных вод.

Таблица 1

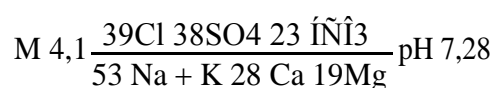
Вариационно-статистические показатели макрокомпонентного состава подземных вод бывшего СИЯП (n=44)

Показатели	$\bar{X} \pm S_x$	lim	σ	$C_v, \%$
pH	7,28±0,06	6,12 – 8,12	0,40	5,51
Сухой остаток	4096±921,6	98 – 34113	6113,1	149,25
Общая жёсткость	21,9±3,34	1,5 – 91,4	22,19	101,24
HCO ₃ ⁻	262,4±17,32	66 – 659	114,86	43,78
Cl ⁻	1179±247,7	13,5 – 8380	1643,1	139,35
SO ₄ ²⁻	1414±377	11 – 13929	2500,1	176,82
Ca ²⁺	185,3±21,66	19 – 605	143,68	77,52
Mg ²⁺	154,1±29,0	3 – 744	192,24	124,77
Na ⁺ +K ⁺	1082±288	9 – 10513	1843,9	170,41

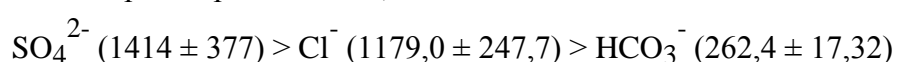
Примечание к табл. 1, 2: $\bar{X} \pm S_x$ – среднее и ± ошибка среднего, lim – размах варьирования, σ – среднее квадратическое отклонение, $C_v, \%$ – коэффициент вариации. Для сухого остатка и главных ионов воды единица измерения – мг/дм³, для общей жесткости – ммоль/дм³.

По итогам проведенных исследований установлено, что значения pH изменяются от 6,12 до 8,12, в среднем составляя 7,28±0,06 (околонейтральная реакция). Среднее содержания сухого остатка (минерализации) составило 4096 мг/дм³. По классификации А.М. Овчинникова [4] на долю ультрапресных вод приходится 4,5 % проб, пресных – 20,5, вод с относительно повышенной минерализацией – 13,6, соленых – 25,0, с повышенной соленостью – 13,6 %, среднее значение относится к соленым водам. Коэффициент вариации изученных компонентов больше 100 %, за исключением pH, гидрокарбонат- и кальций-иона. Рассчитан модальный класс основных физико-химических параметров изучаемых подземных вод. Так, для pH он составляет 7,14 - 7,48 (32 % в выборке), для сухого остатка – 98 – 5770 мг/дм³ (80 %), общей жесткости – 1,5 – 16,5 ммоль/дм³ (57 %). Модальные классы главных анионов составляют: для гидрокарбонатов – 165-264 мг/дм³ (39 %), хлоридов – 11 – 1395 мг/дм³ (71 %), сульфатов – 11 – 2340 мг/дм³ (84 %). Модальные классы главных катионов: кальция – 117-215 мг/дм³ (39 %), магния 127 – 251 мг/дм³ (64 %), суммы натрия и калия – 9 – 1760 мг/дм³ (82 %). Распределение всех основных физико-химических параметров воды, за исключением pH не подчиняется закону нормального распределения (критерий хи-квадрат выше критического).

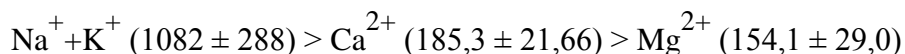
Таким образом, по химическому составу подземные воды бывшего СИЯП являются нейтральными (pH=7,28), солеными (4,1 г/дм³) и очень жесткими (21,9 ммоль/дм³) с преимущественно хлоридно-натриевым типом воды. Средняя формула Курлова для изученных вод:



По средней концентрации ряд анионов, мг/дм³ :



Ряд катионов, мг/дм³:



Сравнивая изученный макрокомпонентный состав с установленными ПДК по ГОСТ 2874-82 для питьевых вод и вод хозяйственно-бытового назначения, можно утверждать о том, что лишь 22 % изученных проб соответствуют по всем показателям. Представляется сомнительным использование остальных 78 % подземных вод для орошения и других целей. Приемлемым составом обладают воды с водозаборов Сарапановский, Саржал, Самай, Есимжал и Каражал.

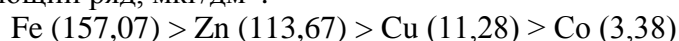
Данные о средних величинах содержания микроэлементов в подземных водах бывшего СИЯП представлены в таблице 2.

Таблица 2

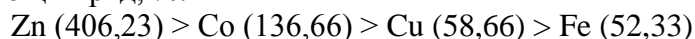
Вариационно-статистические показатели содержания тяжелых металлов в подземных водах бывшего СИЯП, мкг/дм³ (n=44)

Показатели	$\bar{X} \pm S_x$	lim	σ	$C_V, \%$
Cu	11,28±1,00	2,4 - 32,4	6,62	58,66
Zn	113,67±69,6	5,4 - 3095	461,75	406,23
Co	3,38±0,70	0,1 - 18,5	4,62	136,66
Fe	157,07±12,4	10 - 392	82,20	52,33

По величине концентрации исследованные элементы составляют следующий убывающий ряд, мкг/дм³:



По величине коэффициента вариации изученные металлы составляют следующий убывающий ряд, %:



Было отмечено, что содержание изученных металлов меняется в зависимости от многих факторов – от содержания макрокомпонентов, непосредственно химического типа воды, водовмещающей породы.

Нами изучена зависимость концентрации химических элементов в подземных водах от водовмещающей породы (таблица 3).

Таблица 3

Распределение тяжелых металлов в подземных водах бывшего СИЯП в зависимости от основных водовмещающих пород

Водовмещающая порода	Песчаники (n=10)	Гравийно-галечники (n=11)	Туфопесчаники (n=10)	Сланцы (n=8)	Граниты (n=5)
Cu	8,92±1,19	12,54±1,61	13,99±3,52	9,00±1,38	16,38±4,04

Zn	44,79±9,03	32,6±4,94	45,91±15,0	54,45±26,7	29,36±6,39
Co	5,38±1,76	2,29±0,72	3,79±1,78	2,09±1,15	1,16±0,19
Fe	128,2±23,7	172,8±20,9	154,6±14,1	155,2±44,7	156,4±50,9

Породы – наиболее широко распространенный источник минерального компонентного состава подземных вод. За счет водовмещающих пород в подземных водах формируется преобладающая часть компонентов, их доля в общем генезисе химического состава подземных вод в большинстве случаев больше 5-10 %.

Видно, что в воде различных водовмещающих пород значительно изменяется содержание кобальта – в 4,6 раза. Разница содержания других элементов меньше – 1,8 – 1,9 раза, железа – 1,3 раза.

По содержанию *меди* (мкг/дм³) в подземных водах бывшего СИЯП в зависимости от основных водовмещающих пород образуется убывающий ряд:

Граниты (16,38) > Туфопесчаники (13,99) > Гравийно-галечники (12,54) > Сланцы (9,00) = Песчаники (8,92);

по содержанию *цинка*:

Сланцы (54,45) > Туфопесчаники (45,91) > Песчаники (44,79) > Гравийно-галечники (32,6) > Граниты (29,36);

по содержанию *кобальта*:

Песчаники (5,38) > Туфопесчаники (3,79) > Гравийно-галечники (2,29) > Сланцы (2,09) > Граниты (1,16);

по содержанию *железа*:

Гравийно-галечники (172,8) > Граниты (156,4) > Сланцы (155,2) > Туфопесчаники (154,6) > Песчаники (128,2).

Также изучена зависимость концентрации тяжелых металлов от типа воды (таблица 4).

Таблица 4

Тип воды	Cu	Zn	Co	Fe
HCO ₃ -Ca	13,4	27,07	2,06	103,57
HCO ₃ -Na	17	38,9	1,27	132,33
SO ₄ -Ca	8,53	39,23	1,3	214,75
SO ₄ -Na	10,5	40,2	4,5	172
SO ₄ -Mg	14,15	43,6	2,1	165
Cl-Na	10,25	206,48	4,26	161,2

Наиболее ярко зависимость от типа воды проявляется у цинка - его содержание изменяется в 7,6 раз. Колебания кадмия составили 5,9 раз, остальных элементов – от 2 до 3,5 раз.

По содержанию *меди* химические типы изученных подземных вод составляют следующий убывающий ряд:

HCO₃-Na (17) > SO₄-Mg (14,15) > HCO₃-Ca (13,4) > SO₄-Na (10,5) > Cl-Na (10,25) > SO₄-Ca (8,53);

по содержанию *цинка*:

Cl-Na (206,48) > SO₄-Mg (43,6) > SO₄-Na (40,2) > SO₄-Ca (39,23) > HCO₃-Na (38,9) > HCO₃-Ca (27,07);

по содержанию *кобальта*:

SO₄-Na (4,5) > Cl-Na (4,26) > SO₄-Mg (2,1) > HCO₃-Ca (2,06) > SO₄-Ca (1,3) > HCO₃-Na (1,27);

по содержанию *железа*:

SO₄-Ca (214,75) > SO₄-Na (172) > SO₄-Mg (165) > Cl-Na (161,2) > HCO₃-Na (132,33) > HCO₃-Ca (103,57).

На основе корреляционного анализа было выявлено отсутствие зависимостей между основными физико-химическими параметрами и цинком, кроме pH. В паре pH-Zn связь обратная, средней силы. Корреляционные связи кобальта с сухим остатком, общей жесткостью, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na+K являются прямыми средними и определяются значениями $r = 0,50-0,68$, с pH связь слабая обратная ($r = -0,30$), с HCO₃⁻ ионами связь слабая прямая ($r = -0,30$). Железо образует достоверную корреляционную связь только с HCO₃⁻ ионами ($r = 0,35$). Медь с макрокомпонентами не образует достоверных связей.

При экологической оценке данных вод были выявлены превышения ПДК по макрокомпонентному составу. По изученным металлам превышений ПДК нет, однако их содержание существенно выше геохимического фона для подземных вод зоны гипергенеза (2-8 раз).

Литература

1. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Лурье Ю.Ю. М.: Наука, 1973. 376 с.
2. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.