

УДК 550.4

UDC 550.4

25.00.00 Науки о Земле

Sciences about the Earth

**РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ  
ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ  
ВОД ОБЬ-ТОМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ****LOCALIZATION FEATURES OF  
GEOCHEMICAL TYPES OF UNDERGROUND  
WATER OF OB-TOMSKOYE INTERFLUVIAL**

Янкович Елена Петровна  
SPIN-код 2097-1862  
[yankovich@tpu.ru](mailto:yankovich@tpu.ru)

Yankovich Elena Petrovna  
SPIN-code 2097-1862  
[yankovich@tpu.ru](mailto:yankovich@tpu.ru)

Копылова Юлия Григорьевна  
к.г.-м. н.  
[unpc\\_voda@mail.ru](mailto:unpc_voda@mail.ru)

Kopylova Yulia Grigoryevna  
Cand.Geol.-Mineral.Sci  
[unpc\\_voda@mail.ru](mailto:unpc_voda@mail.ru)

Гусева Наталья Владимировна  
к.г.-м. н.  
[unpc\\_voda@mail.ru](mailto:unpc_voda@mail.ru)  
*Томский политехнический университет, г.Томск,  
Россия*

Guseva Natalia Vladimirovna  
Cand.Geol.-Mineral.Sci  
[unpc\\_voda@mail.ru](mailto:unpc_voda@mail.ru)  
*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

В статье рассмотрен химический состав неоген-четвертичного, палеогенового, мелового и палеозойского комплексов Обь-Томского междуречья и оценена степень насыщенности вод рассматриваемых комплексов вторичными минералами. Авторами установлено, что воды всех без исключения водоносных комплексов насыщены монтмориллонитами и в несколько меньшей степени кальцитом. Выделены геохимические типы подземных вод и установлено их площадное распространение. По особенностям пространственного распределения геохимических типов вод и величин индексов неравновесности проведена типизация территории по степени насыщенности вод относительно минералов горных пород и, соответственно, интенсивности геохимических процессов

The chemical composition of neogen-quaternary, paleogene, cretaceous and paleozoic aquifer systems in the Ob-Tomskoye interfluves area is presented in the article. The water saturation with respect to secondary minerals is described. Authors show that the waters of all studied aquifer systems are saturated with respect to montmorillonites and calcite in a less degree. The geochemical water types are identified and their distribution is described

Ключевые слова: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ ВОД, ИНДЕКС НЕРАВНОВЕСНОСТИ, ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Keywords: GEOCHEMICAL WATER TYPES, NON-EQUILIBRIUM INDEX, UNDERGROUND WATER

## Введение

Согласно развиваемым в последние десятилетия представлениям, обогащение вод химическими элементами является результатом равновесно-неравновесного характера взаимодействия в системе вода – эндогенная порода. Эволюционное развитие системы вода-порода приводит к формированию определенных гидрогенно-минеральных комплексов, представляющих собой генетически связанную ассоциацию вторичной

минеральной фазы, соответствующего геохимического типа воды и характера геохимической среды [1, 2, 3, 4]. Вследствие этого выявление геохимических типов вод является генетической основой геохимической классификации природных вод при решении вопросов миграции химических элементов и задач мониторинга эколого-геохимического состояния природных вод.

В статье представлены результаты исследования степени насыщенности подземных вод на территории Обь-Томского междуречья породообразующими минералами и выявление особенностей распространения в пределах рассматриваемой территории геохимических типов вод для последующего их использования в целях совершенствования технологии мониторинга эколого-геохимического состояния природных вод.

### **Объект и методы исследования**

Территория исследования, административно входит в состав Томского района, на западе незначительная часть принадлежит Шегарскому и Кожевниковскому районам Томской области и расположена, в основном, на междуречье рек Оби и Томи (рис. 1). На небольшой площади в непосредственной близости друг от друга расположены два промышленных центра города Томск, Северск, крупнейший в России Томский водозабор подземных вод, водозаборы г. Северска, Сибирский химический комбинат (СХК) с предприятиями ядерного производства и полигонами глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ЖРО) [5].

С целью проведения специализированных гидрогеологических исследований, совместного изучения всех природных сред и разработки методических указаний на территории Обь-Томского междуречья и прилегающей к нему правобережной части р.Томи в 2001 г. был создан

гидрогеологический полигон «Томский» (далее полигон «Томский») [6, 7] (рис.1).

Для изучения состояния геологической среды под воздействием интенсивного отбора подземных вод и закачки ЖРО в водоносные горизонты, в пределах данной территории имеется достаточно обширная сеть пунктов наблюдения за подземными водами.

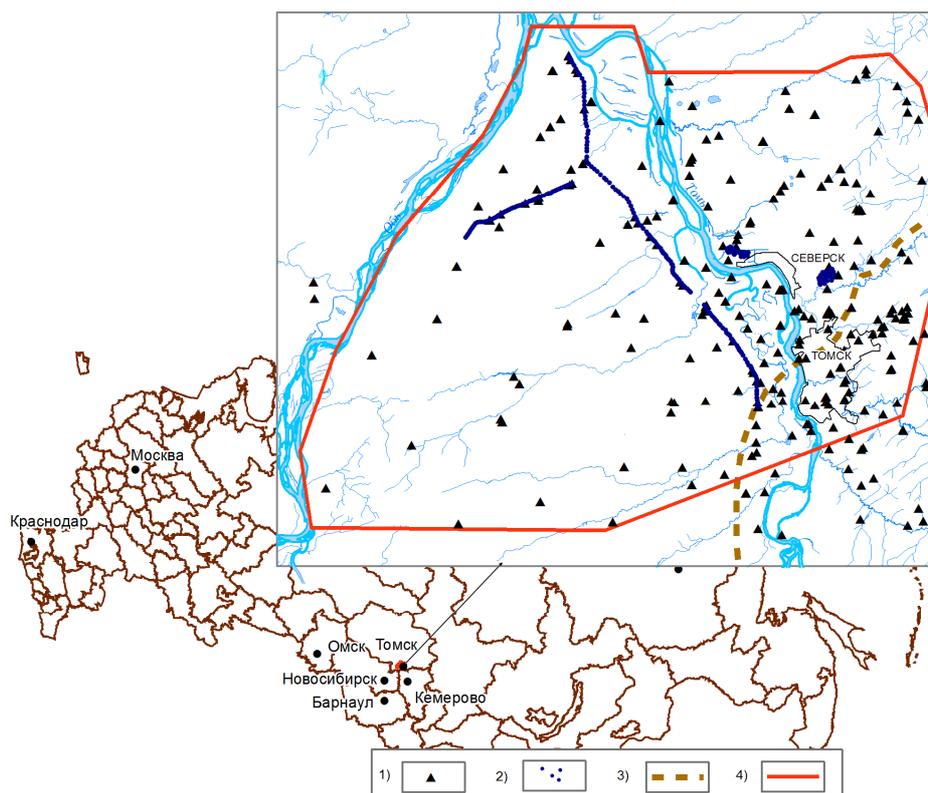


Рисунок 1. Обзорная схема района исследований

Условные обозначения: 1) скважины; 2) скважины 3) граница между Западно-Сибирским артезианским бассейном (ЗСАБ) и Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой областью(САГСО); 4) контуры Томского полигона

Объектом исследования в данной работе являются подземные воды гидрогеологического полигона «Томский».

В основу работы положена база гидрогеохимических данных опробования подземных вод на территории гидрогеологического полигона «Томский», любезно предоставленная ОАО «Томскгеомониторинг», которая содержит результаты химических анализов проб подземной воды за период наблюдения с 1962 по 2010 гг.

Степень насыщенности подземных вод вторичными минералами устанавливалась по величине индекса неравновесности [8]. Индекс неравновесности представляет собой отношение теоретического произведения активностей компонентов реакции, описывающей определенную стадию взаимодействия системы вода-порода к фактическому, наблюдаемому в водах, произведению активностей этих компонентов и определяется по формуле (1):

$$A = \frac{\lg(K_{реак}^0)}{Q} \quad (1)$$

где  $K^0$  – константа реакции;  $Q$  – квотант реакции или отношение фактического произведения активностей продуктов реакции к фактическому произведению активностей исходных веществ [8].

Значения индекса неравновесности изменяются от положительных при ненасыщенности вод вторичными минералами до отрицательных значений при их пересыщенности и нулевом значении в состоянии равновесия системы.

Оценка степени насыщенности подземных вод полигона «Томский» проводилась по отношению к таким минералам как гиббсит, каолинит, монтмориллониты, карбонаты. Используются уравнения взаимодействия вод с алюмосиликатными и карбонатными минералами и их основные термодинамические параметры приведенные [8].

Способность компонентов водного раствора вступать в химическое взаимодействие характеризуется активностью соответствующих ионов и молекул и определяется по формуле (2) [9]:

$$a_{ион} = [ион] = \gamma_{ион} \cdot C_{ион} \nu \quad (2)$$

где  $\gamma_{ион}$  – коэффициент активности;  $C_{ион}$  – аналитически определенные концентрации, моль/л, при 25 °С и 105Па.

Коэффициент активности вычислялся по уравнению Дебая–Хюккеля, используемому для низкоминерализованных растворов [9].

Для наглядного представления и установления вероятных тенденций преобразования минерального вещества в гидрогеохимических средах, отвечающих по составу основным типам природных вод, использовались диаграммы полей устойчивости алюмосиликатных и карбонатных минералов [3, 9, 10].

### **Результаты и обсуждение**

Приуроченность территории полигона «Томский» к области стыка двух крупных гидрогеологических структур: Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) и Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой области (САГСО) обусловила особенность гидрогеологических условий. В составе водовмещающих отложений рассматриваемой территории преобладают алюмосиликатные разности, взаимодействие с которыми определяет формирование состава вод.

В разрезе отложений ЗСАБ и САГСО воды зоны насыщения подразделяются на два водоносных этажа. Верхний водоносный этаж представлен следующими комплексами: водоносный комплекс неоген-четвертичных отложений; водоносный комплекс палеогеновых отложений; водоносный комплекс меловых отложений. Нижний водоносный этаж представлен водоносными зонами нижне-среднего карбона и верхнего девона [6, 7, 11].

Природные факторы формирования подземных вод, расположение изучаемой площади в зоне тайги (подзона мелколиственных лесов) с гумидным климатом, с плоским равнинным рельефом, определили преобладание здесь слабощелочных гидрокарбонатных кальциевых вод инфильтрационного типа в основном пресных с минерализацией до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Геохимическая обстановка подземных вод полигона «Томский» характеризуется значениями Eh от -110 до 111 mV и может быть, в целом оценена как окислительно-восстановительная с преобладанием глеевой.

Что способствует накоплению в подземных водах органических соединений и элементов с переменной валентностью (железо, марганец и др.) в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые содержания для питьевых вод. По химическому составу воды неоген-четвертичных, палеогеновых, меловых отложений и палеозойских образований схожи (таб.1) [12].

Таблица 1.

Химический состав подземных вод Обь-Томского междуречья

Компоненты	Ед. изм.	Среднее содержание в подземных водах				
		Водоносные комплексы отложений и образований				зоны выщелачивания провинции умеренновлажного климата[3]
		Неоген-четвертичных	Палеогеновых	Меловых	Палеозойских	
Число анализов*		3450	3707	508	738	
pH		7,4	7,4	7,3	7,6	6,82
HCO <sub>3</sub>	мг/л	268,1	313,9	247,5	381,6	222
SO <sub>4</sub>	мг/л	5,67	5,0	4,2	9,3	18,2
Cl	мг/л	4,8	3,0	17,5	6,1	15,9
NO <sub>2</sub>	мг/л	0,06 (2262)	0,046 (2333)	0,043(328)	0,049 (151)	0,10
NO <sub>3</sub>	мг/л	0,79 (2276)	0,7 (2341)	0,4 (366)	0,7 (125)	2,13
NH <sub>4</sub>	мг/л	0,82 (2385)	0,8 (2540)	0,8 (390)	0,6 (574)	0,52
Ca	мг/л	61,7	72,3	42,7	90,1	38,3
Mg	мг/л	12,5	15,7	16,3	20,5	16,5
Na	мг/л	7,3	9,5	39,5	13,4	23,8
K	мг/л	1,2	1,4	3,9	1,3	2,74
Si	мг/л	7,7	9,2	10,8	9,7	6,2
Σ солей	мг/л	414,4	485,1	469,1	593,8	354
Окисляемость перманганатная	мгО <sub>2</sub> /л	2,7	2,4	1,9	1,9	н.д.
F	мг/л	0,22 (927)	0,20 (1075)	0,22 (195)	0,21 (103)	0,26
Al	мг/л	<b>0,2</b> (379)	0,1 (493)	0,1 (102)	0,1 (51)	0,16
Fe	мг/л	<b>6,5</b> (2227)	<b>4,0</b> (2415)	<b>4,8</b> (363)	<b>2,3</b> (332)	0,69
Mn	мг/л	<b>0,34</b> (922)	<b>0,2</b> (127)	<b>0,1</b> (139)	<b>0,2</b> (198)	0,06
Co	мг/л	<b>0,0019</b> (99)	<b>0,0010</b> (109)	0,0005 (26)	0,0019 (14)	0,00034
Ni	мг/л	<b>0,011</b> (198)	<b>0,0083</b> (262)	<b>0,0116</b> (74)	<b>0,0072</b> (37)	0,0034
Sr	мг/л	0,34 (133)	0,4 (196)	0,5 (40)	0,5 (45)	0,185
Mo	мг/л	<b>0,0115</b> (200)	<b>0,0044</b> (306)	<b>0,0191</b> (46)	<b>0,0020</b> (20)	0,00089
Zn	мг/л	0,042 (1066)	0,0192 (1391)	0,0115 (148)	0,0111 (184)	0,0428
Cu	мг/л	<b>0,027</b> (1068)	<b>0,0117</b> (1391)	0,0046 (146)	0,0055 (183)	0,00485
Hg	мг/л	<b>0,0004</b> (478)	<b>0,0002</b> (563)	<b>0,0005</b> (69)	<b>0,0002</b> (20)	0,000044

\* – если число анализов отличается от общего, то оно указано в скобках, «н.д.» – нет данных

По содержанию химических элементов подземные воды разных водоносных комплексов мало отличаются от состава вод зоны выщелачивания провинции умеренно влажного климата. Вместе с тем, концентрации кремния, кальция, ртути, меди, молибдена, никеля, кобальта и, особенно, марганца и железа являются более высокими таковых в водах зоны выщелачивания. При этом наибольшие их концентрации отмечаются в верхних водоносных горизонтах. Превышение ПДК для питьевых вод отмечено только для железа и марганца.

Для изучения распространенности геохимических типов вод Обь-Томского междуречья проведен анализ стадий взаимодействия подземных вод с породообразующими минералами. Равновесие вод относительно алюмосиликатных минералов показано на рисунке 2.

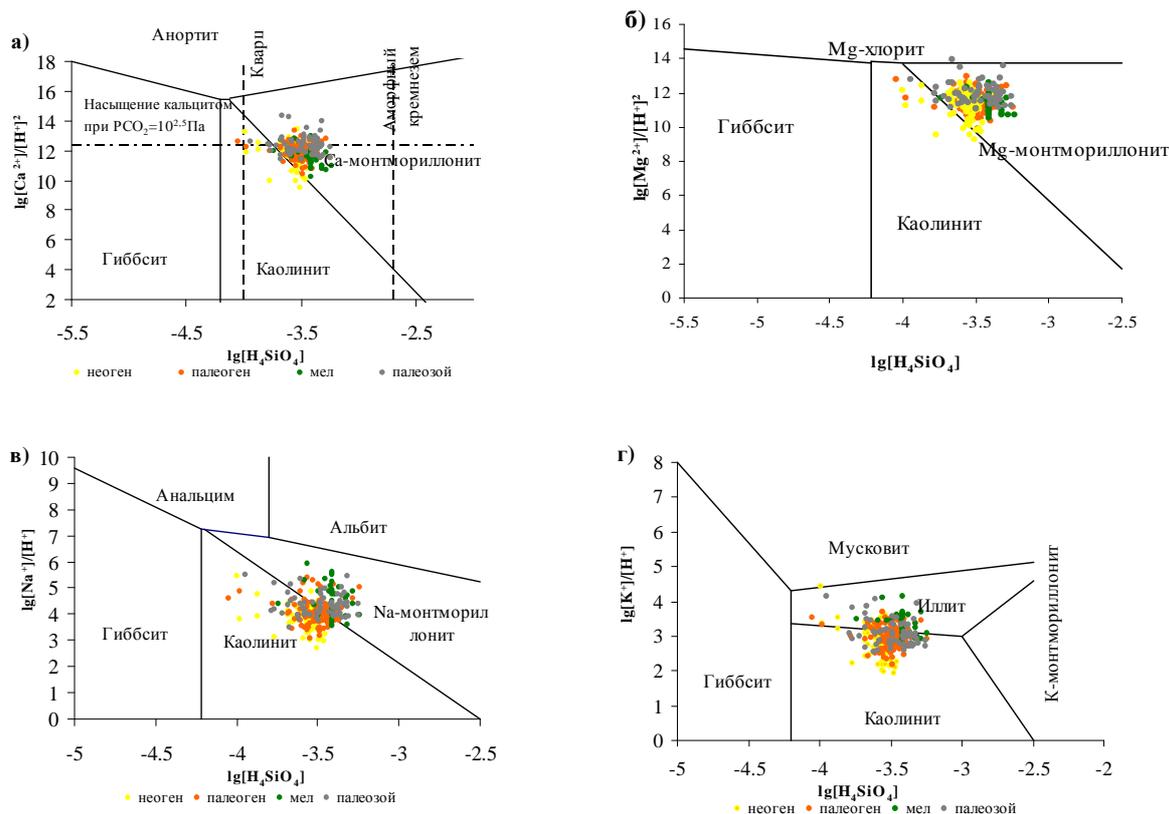


Рисунок 2. Диаграммы устойчивости алюмосиликатных минералов с нанесением данных по составу подземных вод Обь-Томского междуречья при 25 °С и  $10^5$  Па а) гиббсит-каолинит-Са-монтмориллонит-анортит, б) гиббсит-каолинит-Mg-монтмориллонит-Mg-хлорит, в) гиббсит-каолинит-Na-монтмориллонит-альбит-анальцим, г) гиббсит-каолинит-K-монтмориллонит-иллит-мусковит

Разброс точек на диаграммах является достаточно локальным и располагается преимущественно в поле устойчивости монтмориллонитов и в меньшей степени каолинита, особенно, для натриевых и калиевых минералов. При этом к равновесию с каолинитом более всего склонны воды неогеновых, палеогеновых отложений. Последовательный анализ величин индекса неравновесности, рассчитанных по реакциям, позволил установить, что все рассматриваемые воды проходят стадии насыщения гиббситом, Са-монтмориллонитом, Mg-монтмориллонитом. Необходимо отметить, что в водах одного водоносного горизонта на разных его участках наблюдается их равновесие с разными минералами.

Для изучения особенностей изменения индекса неравновесности вод с вторичными минералами выполнена их статистическая обработка и построены графики изменения величин индексов неравновесности по водоносным горизонтам (рис.3).

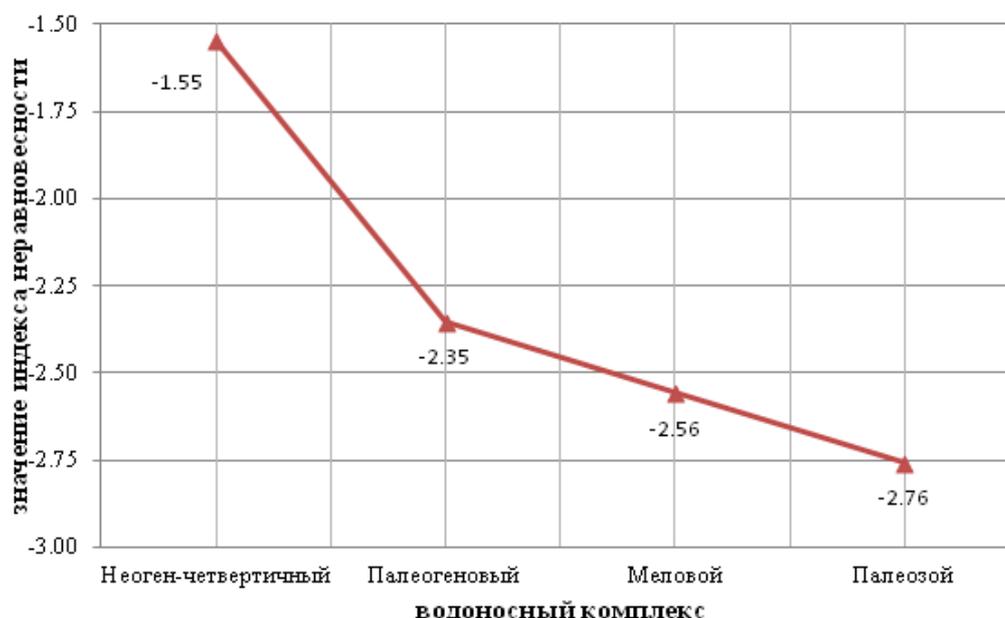


Рисунок 3. Изменение степени насыщенности подземных вод Обь-Томского междуречья Са-монтмориллонитом

Из анализа рисунка 3 следует, что наблюдается направленное уменьшение индекса неравновесности от вод неоген-четвертичного горизонта к водам палеогенового горизонта и водам палеозойских

образований, что отмечается в водах, равновесных с каолинитом и монтмориллонитами.

Выявленные закономерности постепенного повышения насыщенности вод вторичными минералами определяются увеличением глубины проникновения вод и, соответственно, временем взаимодействия вод с горными породами.

По величинам индекса неравновесности выявляются пространственные закономерности изменения степени насыщенности вод относительно минералов горных пород (рис.4).

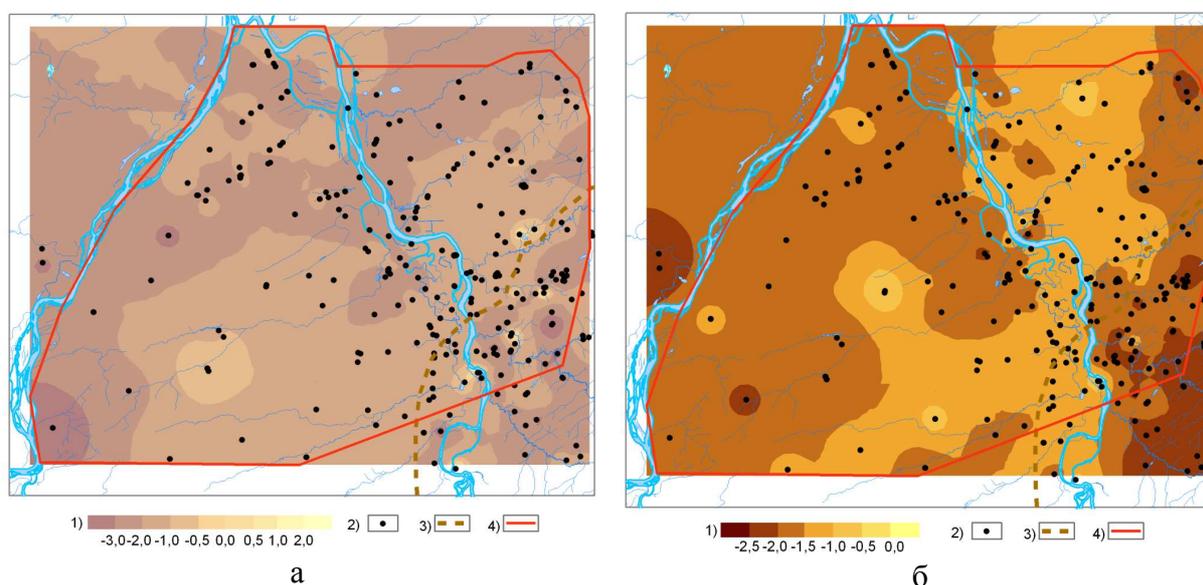


Рисунок 4. Изменение величины индекса неравновесности вод Mg-монтмориллонитом (а) и кальцитом (б)

Условные обозначения: 1) значения индекса неравновесности; 2) скважины 3) граница между ЗСАБ и САГСО; 4) контуры Томского полигона

Так, величина индекса неравновесности воды с Mg-монтмориллонитом изменяются от -5,5 в водах до -3,0, что говорит о высокой степени насыщенности вод монтмориллонитами. Однако на этом фоне, вблизи контакта ЗСАБ и САГСО, выделяется область меньшей насыщенности вод, характеризующаяся около равновесными значениями индекса неравновесности (рис.4а). Вблизи зоны сочленения двух гидрогеологических структур также отмечается изменение насыщенности вод относительно кальцита, образующегося за счет растворения

карбонатов (рис. 4б) и прослеживается область около равновесных значений северо-восточной направленности. Вероятнее всего, формирование зон меньшей насыщенности вод относительно монтмориллонита и кальцита обусловлено увеличением здесь интенсивности водообмена, благодаря формированию скульптурных террас, связанных с процессами новейшей тектонической деятельности [11].

По состоянию насыщенности подземных вод Обь-Томского междуречья рассматриваемыми вторичными минералами выделяются следующие равновесные группы вод: с каолинитом; с Са-Mg-монтмориллонитами; с Na-монтмориллонитами; с кальцитом.

Полученные результаты позволяют в пределах исследуемой территории, используя классификацию Шварцева [3, 10] выделить четыре геохимических типа вод: алюминиево–кремнистый, кремнистый кальциево-магниевый, кремнисто-натриевый, кремнистый карбонатно-кальциевый (таб.2).

Таблица 2

Геохимические типы вод Обь-Томского междуречья

Водовмещающие отложения (кол-во скважин)	геохимический тип воды	Равновесие	Кол-во скважин	
			шт	%
Неоген-четвертичные 93	алюминиево–кремнистый	с каолинитом	15	16
	кремнисто-магниевый	с монтмориллонитами	72	78
	кремнистый карбонатно-кальциевый	с кальцитом	6	7
Палеогеновые 139	алюминиево–кремнистый	с каолинитом	4	3
	кремнисто-магниевый	с монтмориллонитами	115	83
	кремнисто-натриевый	с монтмориллонитами	7	5
	кремнистый карбонатно-кальциевый	с кальцитом	13	9
Меловые 42	кремнисто-магниевый	с монтмориллонитами	23	55
	кремнисто- натриевый	с монтмориллонитами	19	45
Палеозойские 67	алюминиево–кремнистый	с каолинитом	2	3
	кремнисто-магниевый или (кальциево-магниевый)	с монтмориллонитами	42	63
	кремнисто- натриевый	с монтмориллонитами	1	1
	кремнистый карбонатно-кальциевый	с кальцитом	22	33

Установлено, что в пределах одного водоносного горизонта на разных его участках возможно формирование разных геохимических типов вод, обусловленных временем взаимодействия и разной интенсивностью водообмена (таб.2, рис.5).

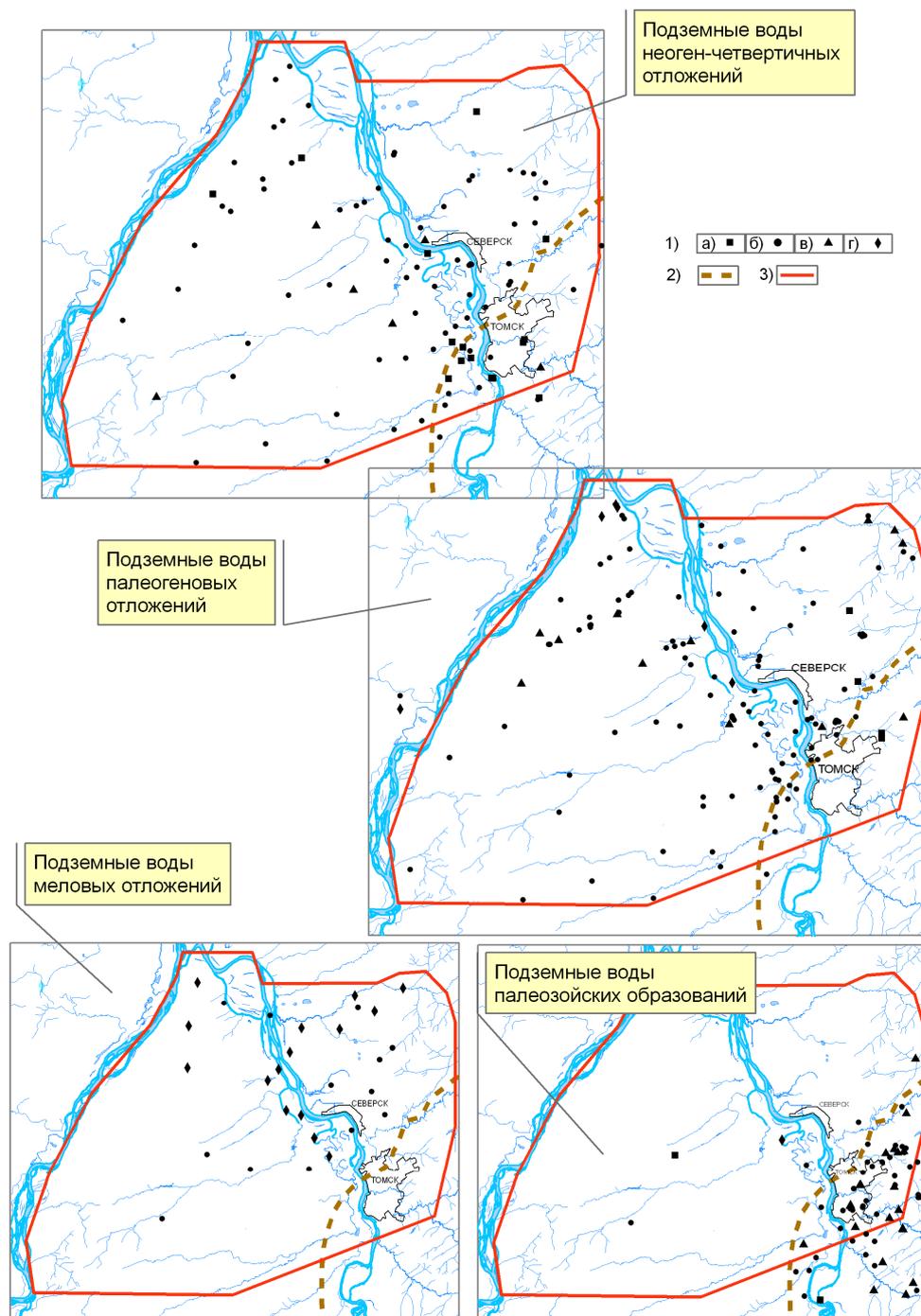


Рисунок 5. Распространенность геохимических типов вод в водоносных горизонтах

1 – геохимические типы вод: а)алюминиево-кремнистый, б)кремнистый кальциево-магниевый, в)кремнисто-натриевый, г)кремнистый карбонатно-кальциевый



следующие геохимические типы воды: алюминиево-кремнистый, кремнистый кальциево-магниевый и кремнистый карбонатно-кальциевый.

Выявлена закономерность постепенного повышения насыщенности вод с минералами вмещающих пород с увеличением глубины их проникновения.

По особенностям пространственного распределения геохимических типов вод и величин индексов неравновесности проведена типизация территории по степени насыщенности вод относительно минералов горных пород и, соответственно, интенсивности геохимических процессов.

### Список литературы

1. Вернадский В.И. История природных вод / В.И. Вернадский; отв. ред. С.Л. Шварцев, Ф.Т.Яншина. – М.: Наука, 2003. – 750 с.
2. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т.1: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза / В.А. Алексеев [и др.]; отв. редактор тома С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
3. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366с.
4. Гусева Н.В. Геохимические типы природных вод междуречья Ензорьяхи и Юньяхи (восточный склон Полярного Урала)/ Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Хвашевская А.А.- Водные ресурсы.- 2013.- Vol. 40.- № 4.- Р. 386–395
5. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И. и др.– Томск: 2006. – 216 с.
6. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2001 г., Информационный бюллетень/ под ред. В.А. Льготина, Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – вып.4. – 180 с.
7. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2003 г.: Информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина, Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2004. – вып.6. – 180 с.
8. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов.М.: Недра, 1982. – 182 с.
9. Гаррелс Р. М., Крайст Ч. Л. Растворы, минералы, равновесия. — М.: «Мир», 1968. — 368 с.
10. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода—порода: в 5 томах. Т. 2: Система вода—порода в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.] ; отв. редактор тома Б. Н. Рыженко ; ИНГГ СО РАН [и др.]. — Издательство СО РАН, 2007. — 389 с.
11. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья / Попов В.К., Коробкин В.А., Рогов Г.М. и др.– Томск: Изд-во ТГАСУ «Печатная мануфактура», 2002. – 143с.
12. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области)/ Янкович Е.П., Осипова

Н.А., Льготин В.А. и др.// Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3. – Режим доступа: [www.science-education.ru/117-13507](http://www.science-education.ru/117-13507)

## References

1. Vernadskij V.I. Istorija prirodnyh vod / V.I. Vernadskij; otv. red. S.L. Shvarcev, F.T.Janshina. – M.: Nauka, 2003. – 750 s.
2. Geologicheskaja jevoljucija i samoorganizacija sistemy voda-poroda: v 5 tomah. T.1: Sistema voda-poroda v uslovijah zony gipergeneza / V.A. Alekseev [i dr.]; otv. redaktor toma S.L. Shvarcev. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005. – 244 s.
3. Shvarcev S.L. Gidrogeohimija zony gipergeneza. Izd. 2-e, ispr. i dop. – M.: Nedra, 1998. – 366s.
4. Guseva N.V. Geohimicheskie tipy prirodnyh vod mezhdurech'ja Enzor'jahi i Jun'jahi (vostochnyj sklon Poljarnogo Urala)/ Guseva N.V., Kopylova Ju.G., Hvashevskaja A.A.- Vodnye resursy.- 2013.- Vol. 40.- № 4.- R. 386–395
5. Jekologo-geohimicheskie osobennosti prirodnyh sred Tomskogo rajona i zabolevaemost' naselenija / Rihvanov L.P., Jazikov E.G., Suhij Ju.I. i dr.– Tomsk: 2006. – 216 s.
6. Sostojanie geologicheskoy sredy (nedr) na territorii Tomskoj oblasti v 2001 g., Informacionnyj bjulleten'/ pod red. V.A. L'gotina, Tomsk: TC Tomskgeomonitoring, 2002. – vyp.4. – 180 s.
7. Sostojanie geologicheskoy sredy (nedr) na territorii Tomskoj oblasti v 2003 g.: Informacionnyj bjulleten' / pod red. V.A. L'gotina, Tomsk: TC Tomskgeomonitoring, 2004. – vyp.6. – 180 s.
8. Zverev V.P. Rol' podzemnyh vod v migracii himicheskikh jelementov.M.: Nedra, 1982. – 182 s.
9. Garrels R. M., Krajst Ch. L. Rastvory, mineraly, ravnovesija. – M.: «Mir», 1968. – 368 s.
10. Geologicheskaja jevoljucija i samoorganizacija sistemy voda-poroda: v 5 tomah. T. 2: Sistema voda-poroda v uslovijah zony gipergeneza / S. L. Shvarcev [i dr.]; otv. redaktor toma B. N. Ryzhenko; INGG SO RAN [i dr.]. – Izdatel'stvo SO RAN, 2007. – 389 s.
11. Formirovanie i jekspluatacija podzemnyh vod Ob'-Tomskogo mezhdurech'ja / Popov V.K., Korobkin V.A., Rogov G.M. i dr.– Tomsk: Izd-vo TGASU «Pечатnaja manufaktura», 2002. – 143 s.
12. Himicheskij sostav podzemnyh vod kak faktor riska dlja zdorov'ja naselenija (na primere Tomskogo rajona Tomskoj oblasti)/ Jankovich E.P., Osipova N.A., L'gotin V.A. i dr.// Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Jelektronnyj resurs]. – 2014. – № 3. – Rezhim dostupa: [www.science-education.ru/117-13507](http://www.science-education.ru/117-13507)