УДК 556.3(470.53)

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ ВОДООБИЛЬНЫХ ЗОН В НАДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНОЙ ТОЛЩИ ВЕРХНЕКАМЬЯ

Демина А.А., Катаев В.Н.

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: aademina11@mail.ru

Рассматривается влияние структурно-тектонических, геоморфологических и литологических факторов на формирование водообильных зон Верхнекамья, приуроченных к надсолевым отложениям терригенно-карбонатной толщи и связанным с ней верхнесоликамским водоносным горизонтом. Представлены гидрогеологические характеристики наиболее водообильных участков в районе Верхнекамского месторождения солей. Анализ гидрогеологических работ показал, что большую роль в формировании водообильных зон играет новейшая тектоника, тип разреза и геоморфологическая обстановка. Наиболее водообильные участки приурочены к положительным структурам (валы, поднятия), характеризуются карбонатным типом разреза (29 зон из 35), расположены в долинах рек. По результатам картирования наблюдается закономерность возрастания модуля подземного стока на участках неотектонической активности. Рассмотрено картирование водообильных зон по комплексу методов, включающих линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных исследований и геоинформационных технологий.

Ключевые слова: Пермский край, Верхнекамское месторождение солей, водообильные зоны, терригенно-карбонатная толща, верхнесоликамский водоносный горизонт, трещиноватость

FACTORS OF FORMATION AND IDENTIFICATION OF THE HIGH WATER SATURATION ZONES IN UPPER-SALT DEPOSITS OF TERRIGENOUS-CARBONATE THICKNESS WITHIN THE UPPER-KAMA AREA

Demina A.A., Kataev V.N.

Perm State National Research University, Perm, e-mail: aademina11@mail.ru

Analyzed the impact of structural-tectonic, geomorphological and lithological factors on formation of high water saturation zones within the Upper-Kama area related to upper-salt deposit of terrigenous-carbonate thickness and associated with it Upper-Solikamsky aquifer. Hydrogeological characteristics are presented the most high water saturation zones. Analysis of the hydrogeological works showed that an important role in the formation of the zones plays Neotectonics, type of geological structure and geomorphological environment. The most high water zones are confined to positive tectonic structures, characterized by carbonate type of geological cut (29 of 35 zones), are located in the valleys of the rivers. By the results of mapping the observe pattern of increasing module of groundwater flow in areas of neotectonic activity. Reviewed mapping of the high water saturation zones by complex of methods, including lineament-geodynamic analysis based on remote sensing methods and GIS technologies.

Keywords: Perm Krai, Upper-Kama salt deposit, high water saturation zones, terrigenous-carbonate thickness, Upper-Solikamsky water-bearing horizon, fracture

Район Верхнекамья занимает северо-западную часть Пермского края, где широко распространены верхнепермские отложения соликамского возраста.

В геоструктурном отношении территория относится к Верхнекамской впадине, ограниченной с севера Колвинской, с юга – Косьвинско-Чусовской седловиной.

Подземные воды приурочены к верхнесоликамскому водоносному горизонту, представленному довольно однородной толщей глинистых известняков, мергелей, песчаников с прослоями глин и алевролитов. Основные водовмещающие породы комплекса – известняки, поскольку они наиболее трещиноваты и проницаемы. Неравномерная трещиноватость пород обусловила неодинаковую их обводненность.

Понятие «водообильная зона» предложено Л.А. Шимановским в 1975 г., оно означает ограниченные участки земной коры, отличающиеся повышенной концентрацией подземных вод одного или нескольких водоносных горизонтов (комплексов) в результате тектонических, структурных, литологических, геоморфологических или других условий. Такие зоны представляют собой сложные гидрогеологические объекты в водоносных пластах, горизонтах, комплексах, обладают повышенными ресурсами подземных вод, как правило пресных. Данный термин широко используется в работах Н.Д. Буданова, Л.А. Шимановского, Г.К. Михайлова, Г.П. Верхоланцева, Е.А. Иконникова, В.А. Шерстнева и др. для выделения на гидрогеологических картах и схемах линейно вытянутых участков

с аномально высокими показателями водообильности горных пород (модуль подземного стока, дебит родников, удельный дебит скважин), обусловленными их повышенной тектонической трещиноватостью, с благоприятными структурно-тектоническими, геоморфологическими и другими естественными факторами формирования ресурсов пресных подземных вод [1].

Формирование водообильных зон происходит под действием разных процессов, ведущую роль среди которых играют структурно-тектонические условия и неотектоническая активность, обуславливающие повышенную трещиноватость [2, с. 3].

Результаты исследования и их обсуждение

При гидрогеологических съемочных работах в районе Верхнекамского месторождения солей, проведенных в 1970–1980-х гг., выявлено и закартировано 44 водообильных зоны верхнесоликамского водоносного горизонта. Наиболее водообильные из них представлены в табл. 1.

Общей характеристике гидрогеологических особенностей терригенно-карбонатной толщи (ТКТ) в составе серии надсолевых отложений в пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) посвящено достаточно много работ. Из наиболее крупных обобщений, опубликованных в последние 50 лет, отметим монографическое описание «Гидрогеология СССР», где приведены сведения по состоянию изученности подземных вод на 1969 г. [3]. Особое место по теоретическому и практическому значению занимают первое и второе издания монографии А.И. Кудряшова «Верхнекамское месторождение солей» [4, 5]. Общие сведения изложены и в справочной литературе, например в энциклопедии «Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края» [6], а также в отдельных публикациях и диссертационных исследованиях [7–9].

Породы верхнесоликамского водоносного горизонта, к которым и приурочены анализируемые в данной работе водообильные зоны, имеют специфическое распространение. В пределах Предуральского прогиба этот горизонт выходит на поверхность. Глубина его залегания зависит от рельефа и колеблется от 1–2 до 20–30 м. Ниже открытая трещиноватость затухает до глубин 70–80 м, где присутствуют безнапорные и напорные воды. При погружении соликамской свиты к западу под более молодые отложения Русской платформы водоносность толщи наблюдается только до глубин 90–130 м с соответствующим увеличением напора. К западу, в платформенных условиях, в пределах Волго-Камского артезианского бассейна, терригенные породы горизонта замещаются сульфатными отложениями и постепенно переходят в региональный водоупор.

Именно по причине выхода на поверхность или неглубокого залегания пород горизонта в пределах Предуральского прогиба, изучение водообильных зон, приуроченных к нему, имеет практический интерес и особое значение для развивающейся Березниковско-Соликамской градопромышленной агломерации на территории ВКМС.

По генезису водообильные зоны верхнесоликамского горизонта данной площади относятся к тектоническим [10]. В формировании тектонических водообильных зон большую роль играет новейшая тектоника, поскольку раскрытость трещин в значительной мере определяется активностью неотектонических движений. Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что практически все водообильные зоны рассматриваемого горизонта по геолого-структурному положению приурочены к валам либо поднятиям (склон или сводовая часть), где трещиноватость пород максимальна.

Между расположением водообильных зон и участков интенсивных неотектонических движений (геодинамической активности) прослеживается тесная связь, которая выявлена при гидрогеологических съемках по коэффициенту эрозионной расчлененности рельефа. Коэффициент эрозионной расчлененности рельефа (КЭР) является индикатором новейших процессов формирования трещиноватости в результате неотектонических движений. Как правило, при повышенных значениях КЭР (по результатам съемочных работ он составляет 7–14) возрастает и водообильность зоны, тогда как при фоновом (3–7) или пониженном (< 3) КЭР водообильность зоны несколько падает.

Также эта связь подтверждается дистанционными методами, такими как структурно-геологическое дешифрирование современных космоснимков и проведение линеаментно-геодинамического анализа с учетом параметров водоносности. В результате такого анализа выделяются наиболее тектонически ослабленные участки, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность и водоносность.

Таблица 1

Водообильные зоны верхнесоликамского водоносного горизонта на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (по данным гидрогеологических съемочных работ)

№ п/п	Название (местоположение)	Геолого-структурное обоснование зоны	КЭР	Гидрогеологическая характеристика					
				родники		скважины			модуль подземного стока, л/с*км^2
				№№	сумм. дебит л/с	№№	дебит л/с	удельный дебит, л/с	
1	Галухинская (р. Боровица, д. Галухина)	ЮВ окончание Потымского поднятия	н.с.	35 36	990	1с	5,6	0,66	н.с.
2	Тренино-Родниковская (Правобережье р. Усолки, д. Тренина, д. Родники)	ЮВ крыло Харюшинского поднятия	н.с.	1502 1503 1516 1517 1531	516	13с	16	33	н.с.
3	Мошевицкая (верхнее течение р. Мошевицы, между дд. Жуланово и Першино)	Восточный склон и сводовая часть Березниковского вала, зона неотектонических движений	4,0–7,0	566 575 577 632 829 830	90	336, 337, 341	60	н.с.	5,2–6,57
4	Нижнеборовская (нижнее течение р. Боровой)	Березниковский вал, южная периклиналь Нижнемошевского поднятия, участок фоновых значений КЭР	4,0–6,0	69 70 183 185 561 562	328	687, 692, 696	63	н.с.	н.с.
5	Ачесско-Вильвинская (среднее и нижнее течение р. Ачес и нижнее течение р. Вильвы)	Сводовая часть Камско-Вишерского вала, южная периклиналь Зуевского поднятия, зона активных тектонических движений	4,0–5,3	48 60 257–268 1192 1194	337				0,48

Таблица 2

Максимально высокие суммарные дебиты родников (> 100 л/с) в пределах водообильных зон соликамского водоносного комплекса

№ п/п	Название водообильной зоны	Геолого-структурное обоснование зоны	Суммарный дебит родников, л/с
1	Галухинская	ЮВ окончание Потымского поднятия	990
2	Тренино-Родниковская	ЮВ крыло Харюшинского поднятия	516
3	Усольская	ЮВ крыло Харюшинского поднятия	113
4	Изверская	Западное крыло Талицкого поднятия	118
5	Ачесско-Вильвенская	Сводовая часть Камско-Вишерского вала, южная периклиналь Зуевского поднятия	337
6	Нижнеборовская	Березниковский вал, южная периклиналь Нижнемошевского поднятия	328

Теория и практика применения линеаментно-геодинамического анализа свидетельствуют о том, что в формировании определенных геологических, в том числе и гидрогеологических условий конкретных территорий играет роль наличие геодинамически активных зон, в пределах которых наряду с повышением активности проявления эндогенной и экзогенной геодинамики фиксируется повышенная трещиноватость и проницаемость горных пород. При этом геодинамически активные зоны проявляются на различных уровнях от глобального до локального [11, 12]. Гидрогеологическая роль геодинамически активных зон тоже находит отражение в научных публикациях, однако эти публикации, особенно применительно к территориям месторождений калийных солей, довольно редки. В качестве примера приведем работы И.С. Копылова [13, 14] по территориям западной части Сибирской платформы и территориям Верхнекамского калийно-магниевого месторождения (ВКМС, Пермский край), Жилянского месторождения калийных и полигалитовых солей в Актюбинской области Республики Казахстан, Тюбегатанского месторождения калийных солей в Дехканабадском районе Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. Проведенные этим автором детальные дистанционные исследования свидетельствуют о хорошей сходимости результатов различных методов аэрокосмогеологических исследований и, например, геофизических методов, что в любом случае обеспечивает надежность прогнозирования участков повышенной трещиноватости пород.

Аналогичный методический комплекс применялся одним из авторов данной работы при картировании и уточнении строения водообильных трещинных зон на Бахтинском и Мутницком месторождениях пресных подземных вод, расположенных на территории Кировской области [15]. Здесь выявленная перспективность месторождений обусловлена зонами и участками трещиноватости пород северодвинского терригенного комплекса.

Помимо этого, не только положение тектонических структур и участков неотектонической активности определяет наиболее вероятное местонахождение зон концентрации подземных вод. Эти факторы свидетельствуют о тектонической напряженности пород, но не о характере их трещиноватости (густоте и открытости трещин, о степени их водопроницаемости), которая зависит от восприимчивости отдельных литологических разностей пород, слагающих разрез, к тектоническим напряжениям. Трещиноватость пород тесно связана с тектоническим строением территории. Интенсивные неотектонические движения постоянно обновляют старые и образуют новые системы трещин. Преобладающее количество трещин имеет тектоническое происхождение.

Наиболее развита трещиноватость на участках, приуроченных к локальным поднятиям. Максимальная трещиноватость (а вследствие и повышенная водообильность) пород приурочена к местам наибольшего изгиба пластов и крутым крыльям структур, к их сводам и периклинальным окончаниям [1, 2], что подтверждается данными съемочных работ, приведенными в табл. 2.

На формирование водообильных зон также влияет и тип разреза. Наиболее восприимчивым к тектоническим напряжениям является карбонатный (известняковый) тип разреза, менее восприимчивым – песчаниковый, а слабовосприимчивым – глинистый. Так, например, в известняках формируются

более открытые трещины, чем в песчаниках, а присутствие большого количества глин в разрезе приводит к кольматации трещин, что в свою очередь снижает обводненность пород. Большинство водообильных зон в терригенно-карбонатной толще Верхнекамья (25 из 39, в 5 зонах по литологии сведений нет) представлена карбонатным типом, и только 4 зоны представлено известняково-глинистым, 3 зоны – известняково-песчаниковым типами разреза [16].

Водообильность пород характеризует не только способность содержать подземную воду. Она отражает их возможность проводить определенный объем воды в естественных условиях, который оценивается по величине модуля подземного стока, дебита родников, скважин [1].

Так, в работе Е.А. Иконникова и др. [15] отмечается локальное возрастание модуля подземного стока в пределах участков неотектонической активности. Такая закономерность прослеживается и по результатам съемочных работ, где в пределах зоны активных неотектонических движений модули подземного стока возрастали с 0,48 до 6,57 л/с/км^2.

Все участки повышенной водообильности, характеристика которых приведена в табл. 1, фиксировались по крупным родникам, но некоторые проверялись и бурением скважин. Как правило, в пределах выделенных зон отмечались высокие дебиты скважин. Дифференциация водообильности соликамского комплекса по скважинам иллюстрируется табл. 3.

Как видно из таблицы, значения дебитов скважин в пределах водообильных зон составляют 5,6–21,4 л/с, удельные дебиты 2,1–61,2 л/с, а за пределами водообильных зон лишь 0,5–1,0 л/с, исключение составляют скважины 1с и 3с, пробуренные на значительном удалении от сводовой части Потымского поднятия.

Помимо благоприятных структурно-тектонических факторов, на пеструю водообильность по скважинам оказывала влияние и геоморфологическая обстановка. Яркими примерами здесь могут служить Изверская и Легчимская водообильные зоны. Наиболее высокие гидродинамические показатели отмечаются в скважинах, пробуренных непосредственно в долинах рек (дебиты варьируют в пределах 0,2–62,5 л/с); причем из 29 пробуренных скважин 27 (94 %) имеют дебиты 4,6–62,5 л/с, а свыше половины (55 %) имеют дебиты более 10 л/с. Удельные дебиты составляют от 2,5 до 17,3 л/с. Для скважин, пробуренных на склонах долин и водоразделах, дебиты изменяются от 0,22 до 47,67 л/с, причем из 17 определений – 11 (60 %) имеют значения 0,22–3,0 л/с (удельные дебиты 0,02–1,6 л/с).

Выводы

В настоящее время с применением дистанционных методов и привлечением геоинформационных технологий, наряду с картированием, повысилась эффективность выявления водообильных зон и участков повышенной водообильности.

Таблица 3

Дифференциация водообильности соликамского комплекса по скважинам

№ п/п	№ скважин	Местоположение	Тектоническая приуроченность	Дебит, л/с	Понижение, м	Удельный дебит, л/с
В пределах водообильных зон						
1	1с	д. Галухина	ЮВ окончание Потымского поднятия	5,6	8,6	0,66
2	2с	с. Осокино	Северо-западное крыло Осокинской мульды	16,5	1,7	9,7
3	3с	д. Силькина	Восточное крыло Потымского поднятия	8,9	15,2	0,58
4	4с	п. Ключи	неясное	21,4	0,25	61,2
5	13с	д. Родники	Восточное крыло Харюшинского поднятия	16,5	0,5	33
6	15с	д. Борисово	Свод Борисовского поднятия	11,9	5,75	2,1
За пределами водообильных зон						
1	14с	Развалины д. Камынино	Северное окончание Чуринской мульды	8,6	15,65	0,5
2	27с	д. Санникова	Чуринская мульда	7,9	7,93	1,0

Выявление и картирование водообильных зон терригенно-карбонатной толщи в районе Верхнекамья, уточнение уже имеющихся данных по таким зонам имеет большое практическое значение для обеспечения населения данного района пресной водой.

Список литературы

1. Михайлов Г.К., Оборин А.А. Подземная кладовая пресных вод Сылвенского кряжа / УрО РАН; Перм. гос. унт. – Пермь, 2006. – 154 с.

2. Копылов И.С. Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 93(09). – С. 1–12.

3. Гидрогеология СССР. Том XIV. Урал / Уральское территориальное геологическое управление. Редактор В.Ф. Прейс. – М.: Недра, 1972. – 648 с.

4. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.

5. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.

6. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия / Под редакцией А.И. Кудряшова. – Пермь, 2006. – 464 с.

7. Бельтюков Г.В. Подземные воды и карст Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис… канд. геол.-мин. наук. – Пермь, 1975. – 24 с.

8. Бельтюков Г.В. Карстовые и гипергенные процессы в эвапоритах: автореф. дис… д-ра геол.-мин. наук. – Пермь, 2000. – 42 с.

9. Шимановский Л.А., Крутов В.М. Гидрогеологические и гидрохимические особенности Верхнекамского соленосного бассейна // Гидрогеология и карстоведение: уч. зап. Пермск. ГУ. 1964. Вып. 2. Т. 119. – С. 228–238.

10. Шерстнев В.А. Водообильные зоны. Избранные труды. – Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2002. – 132 с.

11. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. – М.: Недра, 1986. – 140 с.

12. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 4. – С. 69–74.

13. Копылов И.С. Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разработке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 38–43.

14. Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9–3. – С. 86–90.

15. Иконников Е.А., Катаев В.Н., Ермолович И.Г. Повышение эффективности выявления водообильных трещинных зон в фациально-невыдержанных песчано-глинистых толщах // Комплексные проблемы гидрогеологии: материалы науч. конф. – Санкт-Петербургский гос. ун-т, Санкт-Петербург, 2011. – С. 72–74.

16. Мелехов А.Г. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000 лист О-40-III. Отчет Сылвинской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000 лист О-40-III в период 1973–1975 гг. – Пермь, 1975. – С. 221.

References

1. Mihajlov G.K., Oborin A.A. Podzemnaja kladovaja presnyh vod Sylvenskogo krjazha / UrO RAN; Perm. gos. unt. Perm, 2006. 154 p.

2. Kopylov I.S. Poiski i kartirovanie vodoobilnyh zon pri provedenii gidrogeologiche-skih rabot s primeneniem lineamentno-geodinamicheskogo analiza // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2013. no. 93(09). pp. 1–12.

3. Gidrogeologija SSSR. Tom XIV. Ural / Uralskoe territorialnoe geologicheskoe upravle-nie. Redaktor V.F. Prejs. M.: Nedra, 1972. 648 p.

4. Kudrjashov A.I. Verhnekamskoe mestorozhdenie solej. Perm: GI UrO RAN, 2001. 429 p.

5. Kudrjashov A.I. Verhnekamskoe mestorozhdenie solej. 2-e izd., pererab. M.: Jepsilon Pljus, 2013. 368 p.

6. Mineralno-syrevye resursy Permskogo kraja. Jenciklopedija / Pod redakciej A.I. Kudrjashova. Perm, 2006. 464 p.

7. Beltjukov G.V. Podzemnye vody i karst Verhnekamskogo solenosnogo bassejna: avtoref. dis… kand. geol.-min. nauk. Perm, 1975. 24 p.

8. Beltjukov G.V. Karstovye i gipergennye processy v jevaporitah: avtoref. dis… d-ra geol.-min. nauk. Perm, 2000. 42 p.

9. Shimanovskij L.A., Krutov V.M. Gidrogeologicheskie i gidrohimicheskie osobennosti Verhnekamskogo solenosnogo bassejna // Gidrogeologija i karstovedenie: uch. zap. Permsk. GU. 1964. Vyp. 2. T. 119. pp. 228–238.

10. Sherstnev V.A. Vodoobilnye zony. Izbrannye trudy. Perm: Izd-vo PGU, PSI, PSSGK, 2002. 132 p.

11. Kac Ja.G., Poletaev A.I., Rumjanceva Je.F. Osnovy lineamentnoj tektoniki. M.: Nedra, 1986. 140 p.

12. Kopylov I.S. Geodinamicheskie aktivnye zony Priuralja, ih projavlenie v geofizicheskih, geohimicheskih, gidrogeologicheskih poljah // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2014. no. 4. pp. 69–74.

13. Kopylov I.S. Metody i tehnologii vyjavlenija geodinamicheskih aktivnyh zon pri razrabotke kalijnyh mestorozhdenij dlja obosnovanija bezopasnogo vedenija gornyh rabot // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2014. no. 4. pp. 38–43.

14. Kopylov I.S. Gidrogeologicheskaja rol geodinamicheskih aktivnyh zon // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2014. no. 9–3. pp. 86–90.

15. Ikonnikov E.A., Kataev V.N., Ermolovich I.G. Povyshenie jeffektivnosti vyjavlenija vodo-obilnyh treshhinnyh zon v facialno-nevyderzhannyh peschano-glinistyh tolshhah // Kompleksnye problemy gidrogeologii: materialy nauch. konf. Sankt-Peterburgskij gos. un-t, Sankt-Peterburg, 2011. pp. 72–74.

16. Melehov A.G. Gidrogeologicheskaja karta SSSR masshtaba 1:200 000 list O-40-III. Otchet Sylvinskoj gidrogeologicheskoj partii po rezultatam gidrogeologicheskoj semki masshtaba 1:200 000 list O-40-III v period 1973–1975 gg. Perm, 1975. pp. 221.