

УДК 556.3(470.53-25)

И. В. Щукова, Е. С. Ушакова

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СОЛИКАМСКОЙ ГРАДОПРОМЫШЛЕННОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Результаты исследований получены на основе анализа гидрохимических данных многолетнего мониторинга десяти крупных водозаборов, эпизодических наблюдений отдельных водозаборных скважин, режимных наблюдений в границах трех шахтных полей и родниковой разгрузки в пределах Соликамска и прилегающих к городу территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подземные воды, химический состав, рассолы, засоление.

The research results obtained by analyzing the hydrochemical data of long-term monitoring of ten large water intakes, occasional observations of individual water wells, monitoring observation within the boundaries of three mine fields and spring discharge within the city of Solikamsk and surrounding areas.

К e y w o r d s: groundwater, chemical composition, brine, salinization.

Введение. В настоящее время Соликамск — крупный промышленный центр Пермского края, его площадь 165,5 км², численность населения — 95 тыс. человек (по состоянию на 01.01.2010 г.).

Соликамская градопромышленная агломерация занимает достаточно выгодное экономико-географическое положение, располагаясь почти в центре Пермского края, и входит в состав одного из наиболее развитых в экономическом отношении локальных территориально-производственных комплексов Прикамья — Березниковско-Соликамского. В промышленности города доминируют предприятия химической, целлюлозно-бумажной, цветной металлургии, имеются предприятия лесозаготовительной и деревообрабатывающей, пищевой, полиграфической отраслей и промышленности строительных материалов [3].

Город расположен в центральной части Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС). В границах Соликамска функционируют два крупнейших калийных рудоуправления ВКМКС — СКРУ-1 и СКРУ-2, непосредственно у его восточной границы — СКРУ-3. Рудоуправления с 2011 г. являются структурными подразделениями ОАО «Уралкалий», которое является крупнейшим производителем калийных удобрений РФ. Калийные предприятия включают в свой состав как рудники, ведущие подземную добычу силвинито-карналлитовых руд и каменной соли, так и обогатительные фабрики по их переработке.

Процесс обогащения калийного сырья связан с образованием значительных масс отходов, представляющих собой, главным образом, галитовые отходы, глинисто-солевые шламы и избыточные рассолы, специфическая особенность которых — значительное содержание в их составе легководорастворимых минералов. Частично отходы закладываются в выработанное шахтное пространство, большая их часть размещается в солеотвалах и шламохранилищах [2]. Существенное воздействие на недра при переработке калийных руд связано именно с химическим воздействием отходов производства, которые благодаря высокой растворимости обуславливают развитие про-

цессов засоления грунтов, поверхностных и подземных вод. Основное воздействие на компоненты гидросферы оказывают рассолы из отвально-шламовых объектов. Большая их часть погружается до соляно-мергельной толщи и выводится из зоны активного водообмена.

Общая характеристика района исследований. Город расположен на левом берегу р. Камы (Камского водохранилища), в устьевой части ее притока — р. Усолке (рис. 1).

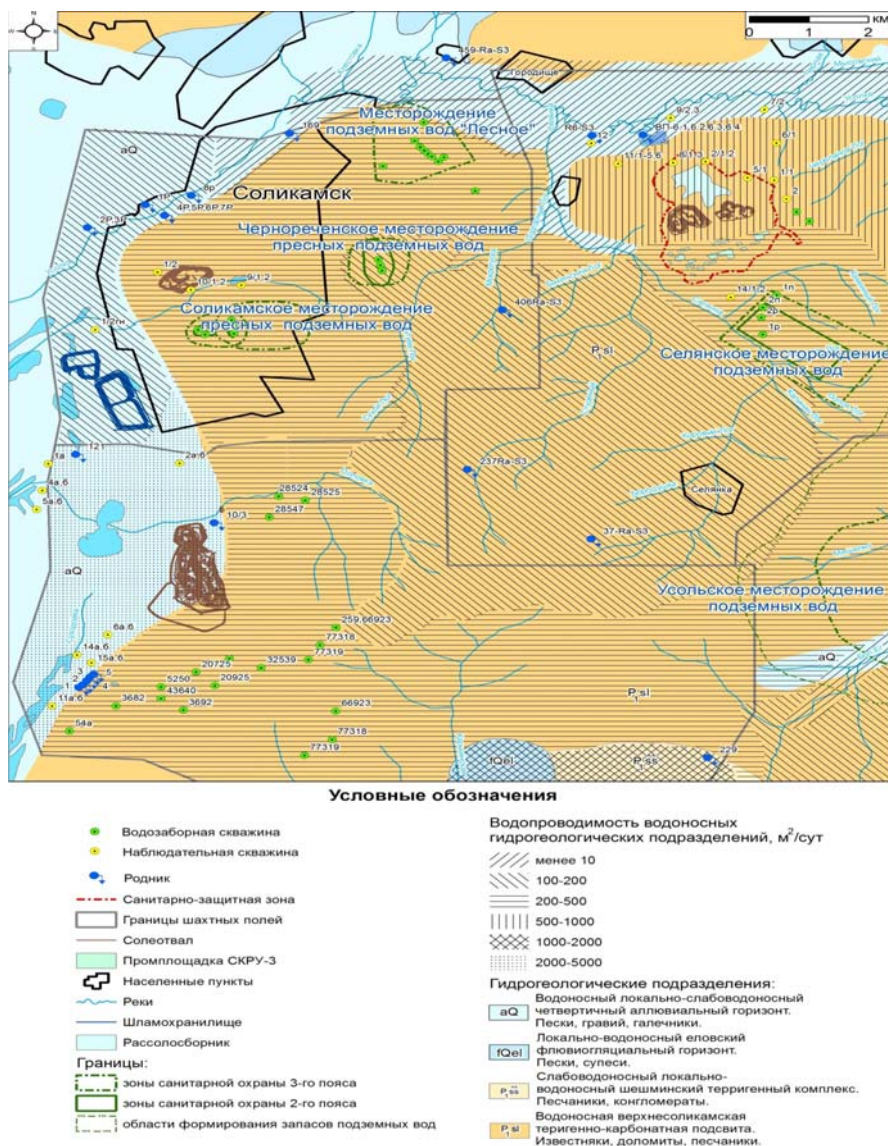


Рис. 1. Гидрогеологическая карта-схема территории исследований

Климатические условия территории исследований определяются ее расположением в восточной части Европейской равнины в предгорьях Уральских гор. Климат района континентальный, с умеренно суровой, длинной,

снежной зимой и умеренно теплым, коротким летом. За год в среднем выпадает 670 мм атмосферных осадков, годовое количество осадков превышает возможное испарение, поэтому увлажнение избыточное.

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей в структурном плане приурочено к центральной части Соликамской впадины Предуральского краевого прогиба. Геологический разрез ВКМКС представлен отложениями вендского комплекса, девонской, каменноугольной, пермской систем и четвертичными отложениями. Собственно месторождение представлено солями нижнепермской галогенной формации (P_{1sl_1}) Соликамской впадины.

По схеме гидрогеологического районирования территории России исследуемый район относится к северной части Предуральского артезианского бассейна Восточно-Европейской системы артезианских бассейнов, к Северо-Предуральскому бассейну блоково-пластовых вод (III-7A) [3, 4].

По условиям взаимосвязи водоносных подразделений с поверхностью в вертикальном разрезе осадочного чехла выделяется два гидрогеодинамических этажа, разделенных региональным иренским водоупором ($P_{1k\text{ ir}}$). В верхний гидрогеодинамический этаж входят все надиренские подразделения, в нижний — все более древние гидрогеологические подразделения, которые практически утратили связь с поверхностью и характеризуются застойным гидрогеодинамическим режимом.

Объектом исследований является верхний гидрогеодинамический этаж, в пределах которого выделяются следующие основные гидрогеологические подразделения — водоносные горизонты четвертичных отложений (pgQ , aQ , $fQel$), слабоводоносный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс ($P_{1šš}$), водоносная верхнесоликамская терригенно-карбонатная подсвита (P_{1sl_2}), слабоводоносная нижнесоликамская соляно-мергельная подсвита (P_{1sl_1}) [3—5]. Нумерация индекса для отложений пермской системы выполнена по стратиграфическому кодексу России 2006 г., согласно которому уфимский ярус отнесен к приуральскому отделу пермской системы (нижняя пермь).

Исключительно велико практическое значение в исследуемом районе водоносной верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты, так как она является единственным источником водоснабжения городов Соликамска и Березники, а также промышленных предприятий.

Водовмещающие породы имеют повсеместное распространение и представлены сильно трещиноватыми известняками, мергелями с прослоями песчаников и аргиллитов. В верхней части подсвиты, выше эрозионного вреза, распространены трещинно-грунтовые воды, чаще безнапорные, ниже местных эрозионных врезов — трещинно-пластовые субнапорные воды. Мощность водоносной толщи изменяется в широких пределах и зависит от геолого-структурных особенностей конкретного участка. В целом для района колебания мощности определяются величинами 30...80 м. Глубина залегания уровня подземных вод увеличивается от долин к водоразделам и составляет 5...75 м.

Трещиноватость и водопроницаемость пород определяются структурными и геоморфологическими факторами, обладают высокой контрастностью. Наибольшей водообильностью отличаются участки речных долин в пределах

пересечения ими положительных локальных структур, где трещиноватость водовмещающих пород повышена за счет наложения трещин неотектонического и экзогенного происхождения. На таких участках дебиты эксплуатационных скважин достигают 50...100 л/с, а удельные дебиты 30...40 л/с. Величина коэффициента водопроводимости известняков на водоразделах не превышает первых десятков метров, часто составляя доли единицы м²/сут. В долинах рек, особенно на пересечении купольных структур, величина коэффициента водопроводимости достигает первых тысяч м²/сут [3—5].

Подземные воды верхнесоликамской подсвиты питают многочисленные родники и обеспечивают минимальный летний и зимний сток рек. Дебиты родников изменяются от 0,1 до 270 л/с, преобладающие значения 0,5...7,9 л/с. Наиболее высокодебитные родники и скважины отмечаются в долине р. Усолки (Харюшинский купол) [3—5].

Питание верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, перетекания из вышележащего водоносного комплекса шешминских отложений, а разгрузка подземных вод происходит за счет бокового оттока, дренирования многочисленными родниками, а также путем восходящей фильтрации через аллювиальные отложения в речную сеть и нисходящей фильтрации в нижележащую водоносную подсвиту.

Гидрохимические условия площади распространения подсвиты характеризуются как закономерным увеличением минерализации подземных вод с глубиной, так и наличием среди пресных подземных вод минерализованных хлоридных с сухим остатком 3...5 г/дм³. Минерализованные воды появляются в зонах разгрузки глубинных рассолов, приуроченных, как правило, к долинам рек, секущих локальные положительные структуры. Они являются следствием смешения пресных подземных вод и рассолов. Кроме того, минерализованные воды отмечаются в нижней части верхнесоликамской подсвиты в пределах мульд за счет бокового притока из нижележащих водоносных подразделений, где они формируются вследствие выщелачивания каменной соли и гипса из водовмещающих пород [3—5].

По степени защищенности подземных вод на территории Соликамска и в его окрестностях выделяются в основном незащищенные и условно защищенные категории [3, 4, 6].

В особо неблагоприятных условиях находится четвертичный аллювиальный водоносный горизонт, относящийся к «незащищенной» категории, ввиду близкого залегания грунтовых вод (до 5 м), незначительной суммарной мощности слабопроницаемых отложений в разрезе зоны аэрации (от 0,5 до 3,5 м), активной гидравлической связи с поверхностными водами, низкого положения в рельефе и расположения производственных предприятий на площади его распространения — это пойменные участки рек Камы, Усолки, Поповки.

К условно защищенным подземным водам относятся площади распространения напорной водоносной верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты, перекрытой выдержанными слабопроницаемыми глинистыми отложениями. Мощность зоны аэрации для этих участков составляет более 8...10 м, в геологическом разрезе присутствуют прослои слабопроницаемых (глинистых, суглинистых) пород мощностью не менее 3 м.

Современное состояние подземных вод территории исследования. На основе современных гидрохимических данных, полученных в результате экологических исследований авторов и фондовых материалов, установлено, что формирование химического состава подземных вод Соликамска происходит под влиянием как естественных, так и техногенных факторов.

Характеристика водозаборов подземных вод. На территории Соликамска и прилегающих к городу территорий Соликамского района можно выделить порядка 10 крупных водозаборов и множество водозаборных скважин, которые расположены в населенных пунктах (см. рис. 1, табл. 1). Все водозаборы и водозаборные скважины эксплуатируют водоносную верхнесоликамскую терригенно-карбонатную подсвиту [7].

Перечень исследуемых водозаборов

Водозаборы	Месторождения
«Калиец» СКРУ-1	Соликамское месторождение пресных подземных вод
2-БИС СКРУ-1	Чернореченское месторождение пресных подземных вод
«Лесное» СКРУ-2	Поповское месторождение пресных подземных вод
Садового товарищества «Магний»	—
Бывшей птицефабрики «Соликамская»	—
Скважины в населенных пунктах	—
№ 1 СКРУ-3	Селянское месторождение пресных подземных вод
№ 2 СКРУ-3	
«Усолка»	Усольское месторождение пресных подземных вод

Водозаборы Соликамских рудоуправлений имеют утвержденные зоны санитарной охраны, скважины оборудованы, основными наблюдаемыми показателями являются величина водоотбора, дебит отдельных водозаборных скважин, уровень подземных вод, физические свойства и химический состав подземных вод.

Мониторинг подземных вод осуществляется регулярно и в полном объеме по микробиологическим, органолептическим и обобщенным показателям. Согласно результатам оценки наблюдений за составом подземных вод, качество извлекаемой воды по анализируемому перечню показателей полностью отвечает питьевым нормам (СанПиН 2.1.4.1074—01), оно стабильно и не претерпевает существенных изменений как в многолетнем, так и внутригодовом режиме. Тенденция ухудшения качества воды не наблюдалась. Исключение составляет водозабор № 1 СКРУ-3, который возник стихийно в период 1988—1989 гг. без проведения геологоразведочных работ, запасы подземных вод не подсчитывались, здесь при соответствии качества вод основным показателям отмечены единичные превышения величины общей жесткости вод.

Согласно проведенному анализу, эксплуатация отдельных водозаборов подземных вод осуществляется без утвержденных зон санитарной охраны, водозаборные сооружения (водонапорные башни, водоводы, скважины) на-

ходятся в неудовлетворительном состоянии, контроль качества питьевой воды либо вообще не организован, либо ведется нерегулярно. Эпизодические наблюдения за качеством подземных вод выявляют повышенные, но не превышающие ПДК минерализацию, концентрацию хлоридов и показатель общей жесткости. При этом загрязнение отмечается только по азотистым соединениям (NO_3^- , NO_2^-). Вероятно, это связано с нарушением условий водоотбора и загрязнением прилегающих территорий с поверхности.

Несмотря на интенсивную техногенную нагрузку с поверхности земли — со стороны многочисленных производственных предприятий — химический состав и минерализация подземных вод верхнесоликамской водоносной подсистемы за последние два-три десятилетия не претерпели существенных изменений. Это обеспечивается хорошей естественной защищенностью водоносного подразделения, организацией зон санитарной охраны водозаборов, соблюдением величины разрешенного водоотбора.

Режимные гидрогеологические исследования. Как было отмечено выше, в границах Соликамска и в его окрестностях функционируют три крупнейших калийных рудоуправления ВКМКС, которые в рамках программы производственного экологического контроля осуществляют режимные наблюдения за качеством подземных вод зоны активного водообмена в пределах существующих шахтных полей. Наблюдательные скважины заложены с учетом главного направления потока подземных вод и размеров зоны влияния промышленных объектов (шламохранилищ, солеотвалов, промплощадок, рассолосборников), их глубина от 5 до 115 м.

Ретроспективный анализ результатов режимных наблюдений показал, что грунтовые воды четвертичных отложений в зоне влияния промышленных объектов преимущественно хлоридного и сульфатного состава, минимальная минерализация $1...3 \text{ г/дм}^3$, максимальная — $54...192 \text{ г/дм}^3$. На фоне повышенной минерализации отмечается превышение ПДК по хлоридам, сульфатам, ионам натрия, магния, общего железа, в отдельных пробах зафиксированы очень низкие значения pH (до 3,6...4,0). Подземные воды шешминского терригенного комплекса гидрокарбонатного и хлоридного состава, в отдельных пробах отмечается преобладание сульфатов. Минерализация не превышает $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Только содержание хлоридов не соответствует нормируемым пределам. Подземные воды верхнесоликамской терригенно-карбонатной толщи хлоридного состава, соленые с минерализацией от $8...10$ до 11 г/дм^3 . В интервале 70...80 м отмечается самая высокая степень засоления, минерализация стабильно высокая — $40...82 \text{ г/дм}^3$. Концентрация хлоридов, ионов магния и натрия в 5...10 раз больше ПДК. Подземные воды соляномергельной толщи на глубине 50...60 м на протяжении всего периода исследований хлоридного состава, минерализация очень высокая, но наблюдается тенденция ее снижения со $100...130$ до $50...70 \text{ г/дм}^3$. Концентрация сульфатов и ионов магния в разы, а хлоридов и ионов калия в десятки раз выше ПДК.

На участках вне зоны влияния промобъектов в четвертичных отложениях распространены пресные гидрокарбонатные воды без признаков загрязнения. Для шешминского водоносного комплекса возможно повышенное содержание сульфатов, что связано с загипсованностью толщи. Подземные воды верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсистемы пресные гидрокарбонатного состава, на участках смешения с рассолами возможно повышение

минерализации (до $3...5 \text{ г/дм}^3$) и жесткости. В соляно-мергельной толще воды преимущественно хлоридные с минерализацией, увеличивающейся с глубиной от $2...2,5$ до $50...300 \text{ г/дм}^3$.

Наиболее подвержены влиянию гидрометеорологических факторов водоносные подразделения, залегающие на небольших глубинах — до 50 м от поверхности. Такие подразделения приурочены к аллювиальным, шешминским отложениям и верхним интервалам соликамской терригенно-карбонатной подсвиты.

Режимные наблюдения за уровнем подземных вод в скважинах (пьезометрах) показали, что в целом сезонная зависимость сохраняется — наиболее низкое положение уровня подземных вод характерно для периода зимней межени, наиболее высокое — для весенне-летнего половодья.

Родниковая разгрузка подземных вод на территории города и в его окрестностях происходит в долинах рек Усолка, Поповка, Суходойка и Селянка. Восходящие и нисходящие источники разгружаются из верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты. Расходы родников от $1...2$ до $15...18 \text{ дм}^3/\text{с}$, температура воды — от $1...2$ до $11...12 \text{ }^\circ\text{C}$.

По химическому составу вод родники можно объединить в 2 группы (рис. 2) — солоноватые, соленые источники хлоридного состава и пресные гидрокарбонатные.

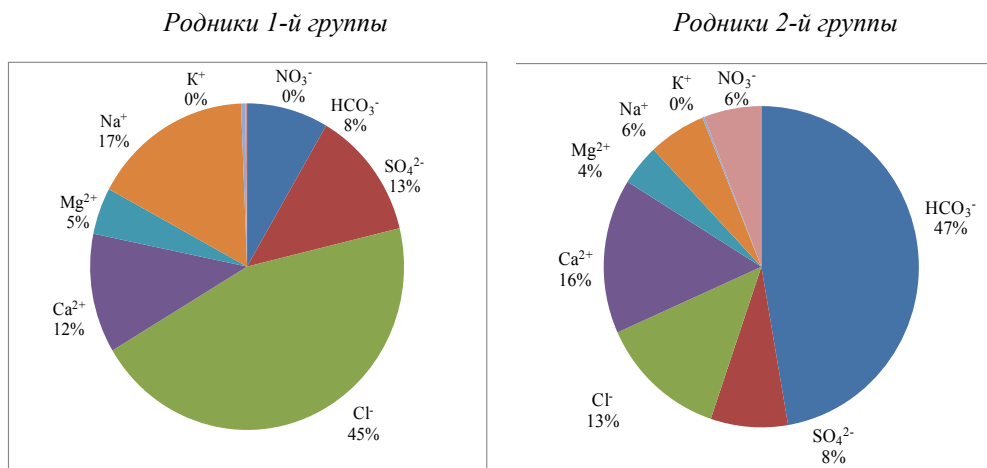


Рис. 2. Соотношения основных ионов в химическом составе родниковых вод на территории исследования

К первой группе относятся источники, разгружающиеся в долине р. Усолки — в западной и восточной частях города. На западной окраине города повышенные содержания хлоридов и других элементов в водах родников обусловлены гидравлической связью водоносной верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты со слабоводоносной нижнесоликамской соляно-мергельной подсвитой, гидравлическая связь которых имеет место на локальных участках, связанных с тектоническими зонами локальных поднятий. Здесь минерализация подземных вод составляет $2...7,5 \text{ г/дм}^3$, воды жесткие и очень жесткие, преимущественно $\text{Cl}^- \text{--Na}^+ \text{--SO}_4^{2-}$ и $\text{Cl}^- \text{--Na}^+ \text{--Ca}^{2+}$ состава [2]. На восточной окраине города гидрохимический режим родников техно-

генный — они разгружаются в прибрежной зоне техногенного озера, которое расположено в непосредственной близости от шламохранилища. Минерализация варьирует в широких пределах (от 2...4 до 18 г/дм³), воды очень жесткие, преобладающие гидрохимические фации [2] — $\text{Cl}-\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+$ и $\text{Cl}-\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$.

Для другой группы родников, разгрузка которых происходит в долинах рек Усолки, Суходойки, Мокрогуски, характерен естественный гидрокарбонатный состав и небольшая минерализация (0,4...0,9 г/дм³). Преобладающими фациями являются природная $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ и $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}$. Воды средней жесткости (до 5 мг-экв/дм³), макроэлементный состав в норме. Возможным фактором повышенного содержания азотистых соединений является несанкционированное складирование бытового мусора как в местах разгрузки подземных вод, так и выше по потоку.

Выводы. Горно-химический профиль промышленной специализации города Соликамска Пермского края, где расположено уникальное Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей, являющееся единственной сырьевой базой калийной промышленности России, обуславливает высокий уровень техногенной нагрузки на все компоненты природной среды, в том числе на подземные воды. Однако, несмотря на интенсивную техногенную нагрузку со стороны многочисленных производственных предприятий города, химический состав подземных вод формируется не только под влиянием техногенных факторов. Подземные воды вне зон влияния промышленных объектов имеют естественный природный облик — пресные гидрокарбонатного состава средней жесткости. На участках в зоне влияния промплощадок, шламохранилищ, солеотвалов, рассолосборников они подвержены интенсивному загрязнению (засолению), обусловленному высокими концентрациями хлоридов натрия и калия.

Гидрохимический режим подземных вод в пределах эксплуатируемых месторождений пресных подземных вод полностью отвечает питьевым нормам и достаточно стабилен во времени. Это обеспечивается не только хорошей естественной защищенностью верхнесоликамской водоносной подсистемы — основного коллектора пресных подземных вод исследуемой территории, но и организацией зон санитарной охраны водозаборов, соблюдением величины разрешенного водоотбора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Состояние и охрана окружающей среды г. Соликамска в 2010 г. Соликамск, 2010.
2. Максимович Г. А. Химическая география вод суши. Пермь, 1955.
3. Комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:50000 Верхнекамской площади на территории действующих горнодобывающих предприятий и детально разведанных участков (информационный отчет): отчет о НИР / Западуралгидрогеология; отв. исп. В. А. Балдин. Сытва, 1996.
4. Создание сводных геологической и гидрогеологической карт Верхнекамского месторождения калийных солей масштаба 1:100 000. Листы: Р-40-138; О-40-5 (в.п.); 6, 7 (з.п.), 17 (в.п.); 18; 19 (з.п.); 29 (в.п.); 30; 31 (з.п.), 42 (с.п.). В 5 кн., 4-х папках / ФГУП «Геокарта-Пермь»; отв. исп. Т. В. Харитонов. Пермь, 2002.
5. Шимановский Л. А. Соликамский водоносный комплекс Камского Приуралья // Геология и петрография Западного Урала. Вып. 6. Пермь, 1974. С. 134—161.
6. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия / под ред. А. И. Кудряшова. Пермь: Книжная площадь, 2006. 464 с.
7. Меньшикова Е. А., Шукова И. В. Водозаборы подземных вод в зоне влияния горно-химического производства // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5249 (дата обращения: 23.07.2012).

1. Sostoyanie i okhrana okruzhayushchey sredy g. Solikamska v 2010 g. Solikamsk, 2010.
2. *Maksimovich G. A.* Khimicheskaya geografiya vod sushi. Perm, 1955.
3. Kompleksnaya gidrogeologicheskaya i inzhenerno-geologicheskaya semka masshtaba 1:50000 Verkhnekamskoy ploshchadi na territorii deystvuyushchikh gornodobyvayushchikh predpriyatiy i detalno razvedannykh uchastkov (informatsionnyy otchet): otchet o NIR / Zapaduralgidrogeologiya; otv. isp. V. A. Baldin. Sylva, 1996.
4. Sozdanie svodnykh geologicheskoy i gidrogeologicheskoy kart Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley masshtaba 1:100 000. Listy: R-40-138; O-40-5 (v.p.); 6, 7 (z.p.), 17 (v.p.); 18; 19 (z.p.); 29 (v.p.); 30; 31 (z.p.), 42 (s.p.). V 5 kn., 4-kh papkakh / FGUP «Geokarta-Perm» ; otv. isp. T. V. Kharitonov. Perm, 2002.
5. *Shimanovskiy L. A.* Solikamskiy vodonosnyy kompleks Kamskogo Priuralya // Geologiya i petrografiya Zapadnogo Urala. Vyp. 6. Perm, 1974. S. 134—161.
6. Mineralno-syrevye resursy Permskogo kraya. Entsiklopediya / pod red. A. I. Kudryashova. Perm : Knizhnaya ploshchad, 2006. 464 s.
7. *Menshikova E. A., Shchukova I. V.* Vodozabory podzemnykh vod v zone vliyaniya gornokhimicheskogo proizvodstva // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5249 (data obrashcheniya: 23.07.2012).

© Щукова И. В., Ушакова Е. С., 2012

Поступила в редакцию
в августе 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Щукова И. В., Ушакова Е. С. Подземные воды Соликамской градопромышленной агломерации // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).