

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3

**Применение ГИС-технологий при  
мелкомасштабном районировании  
гидрогеологических условий  
(на примере Пермского края)****С.В. Щербаков, А.В. Шилова, Д.Р. Золотарев**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: greyvr@mail.ru, shilova-av@yandex.ru, zolotarevdr@mail.ru

*(Статья поступила в редакцию 25 декабря 2015 г.)*

Рассмотрена необходимость систематизации и анализа ранее полученных данных с применением современных геоинформационных технологий (ГИС). Приведено детальное описание электронной карты «Гидрогеологические условия приповерхностной части разреза Пермского края» – пилотной ГИС-карты, созданной по актуализированным материалам исследований прошлых лет. Карта, составленная в масштабе 1:600000, включает слои, содержащие основные сведения о гидрогеологическом районировании Пермского края, встречающихся гидрогеологических горизонтах и комплексах пород, уровненом режиме и минерализации подземных вод, трещинных зонах, участках возможного подъема высокоминерализованных вод глубоких водоносных горизонтов. Карта может быть полезна гидрогеологам, инженерам-геологам, а также представителям органов местного самоуправления и домохозяйств на предварительных стадиях реализации инженерно-технических проектов, проектирования сооружений и водозаборных скважин.

Ключевые слова: *Пермский край, ГИС-проект, районирование, гидрогеология, подземные воды, зональность.*

DOI: 10.17072/psu.geol.30.6

**Введение**

Региональные особенности формирования природных условий во многом определяют методику гидрогеологических исследований, стадийность и последовательность их выполнения. Очевидно, что не может быть рационального планирования объемов гидрогеологических работ без учета структурно-тектонических, геолого-гидрогеологических и других условий

района. В то же время кондиционность итоговых отчетных материалов, в частности, касающихся геологического описания пород, оценки их возраста и стратиграфической приуроченности, характеристики водовмещающих отложений и пр., во многом зависит от правильности истолкования и глубины проработки имеющихся материалов ранее проводившихся обобщений в пределах исследуемого региона.

В изыскательской практике геолого-гидрогеологические условия территории

или участка предполагаемого строительства при отсутствии материалов изысканий прошлых лет предварительно оцениваются с применением региональных картографических материалов и схем, литературных данных. Наиболее часто прибегают к изучению геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических карт, построенных по результатам полевой съемки и дальнейшей обработки материалов. Масштаб таких карт, как правило, не детальнее 1:100000, а зачастую 1:200000 и даже 1:1000000.

С началом XXI в. наметилась тенденция перехода от работы с бумажными первоисточниками к использованию цифровых материалов. Так, в последние годы электронные сканированные растровые картографические материалы, содержащие сведения о геолого-гидрогеологических условиях различных территорий, начинают широко появляться в сети Интернет, а их востребованность среди специалистов-изыскателей растет с каждым днем [1, 2]. Государственными институтами ВСЕГИНГЕО и ВСЕГЕИ ежегодно обновляются ранее созданные и выпускаются новые тематические карты и карты районирования территории Российской Федерации и отдельных ее районов в масштабе 1:1000000–1:2000000 и крупнее в электронных форматах.

Многие предприятия, работающие в области гидрогеологических исследований, активизировали свои усилия в переводе имеющихся архивов в электронные форматы [8]. Некоторые организации шагнули дальше и занимаются разработкой интерактивных тематических ГИС-систем, позволяющих конечному пользователю получать исчерпывающую информацию по интересующему объекту (например, скважине) на карте. Показательным примером такой системы может служить разработанная в Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН интерактивная карта инженерно-геологического районирования территории г. Москвы [4–6].

Назрела острая необходимость в создании электронных векторных картографических материалов, содержащих тематические слои об изученности природных условий той или иной территории, которые позволят не только уточнить уже установленные зависимости [10], но и выявить новые закономерности [11].

### **Гидрогеологическая изученность Пермского края**

На территории Пермского края наряду с картографическими материалами государственной гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 и мельче одним из базовых источников первичных сведений о гидрогеологии участка является работа Л.А. и И.А. Шимановских [7]. В её основе лежит огромный объем фактических данных, включающий материалы геологического и гидрогеологического бурения, полевых гидрогеологических наблюдений и опытно-фильтрационных работ, опробования подземных вод и прочих исследований, проводившихся различными организациями и лично авторами на территории Пермского края в течение 40–70 гг. XX столетия.

Все сведения о геологическом строении и гидрогеологических условиях края приведены отдельно по административным районам в виде отдельных карт-схем. По каждому району приведена краткая справка об особенностях формирования подземных вод в приповерхностной части разреза, а также даны статистические сведения о дебете, минерализации, гидрохимическом составе подземных вод, отобранных из многочисленных скважин. Такой подход к изложению материала позволяет оперативно оценивать обстановку, в которой располагается исследуемый участок или проектируемый объект.

Следует отметить, что в отмеченной книге приведены уникальные данные по гидрогеологическому районированию Пермского края применительно к водоснабжению территорий, а также сведения об ожидаемых глубинах залегания под-

земных вод в пределах различных площадей, что является особенно полезным при планировании объемов бурения на начальных стадиях выполнения проекта.

Авторами на кафедре динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного университета была проведена работа по обобщению, аккумуляции и систематизации описанных данных, однако это обобщение носит предварительный характер. Для уточнения ситуации следует пользоваться результатами последующих исследований, прежде всего картами, составленными по материалам гидрогеологической съемки масштаба 1:200000, а также проводить полевые работы на месте проектируемых изысканий.

### Характеристика ГИС–гидрогеологическая карта

В основу создания геоинформационной системы (ГИС) мелкомасштабного районирования гидрогеологии приповерхностных водоносных горизонтов Пермского края были положены материалы:

- государственной геологической съемки масштабов 1:200000–1:1000000;
- региональных гидрогеологических исследований кафедры динамической геологии и гидрогеологии и лично Л.А. Шимановского и И.А. Шимановской [7];
- исследований В.Н. Катаева и И.В. Щуковой, проведенных на территории г. Перми [3].

На данном этапе материалы более детальных гидрогеологических исследований, чем масштаб 1:200000, не учитывались, но, несомненно, будут привлечены на дальнейших этапах реализации проекта при проведении крупномасштабного районирования.

Сведения, приведенные из выше обозначенных источников, отраженные на картах и схемах, последовательно сканировались, привязывались к единой векторной основе (система координат Пулково-1942, зона 10), после чего подвергались

оцифровке (векторизации) в полуавтоматическом режиме в программном комплексе ESRI ArcGIS 10.

В структуре созданного таким образом ГИС-проекта выделяются две группы слоев данных: 1) общие – содержат административную и ситуационную информацию; 2) тематические – включают собственно сведения о геолого-гидрогеологических условиях края.

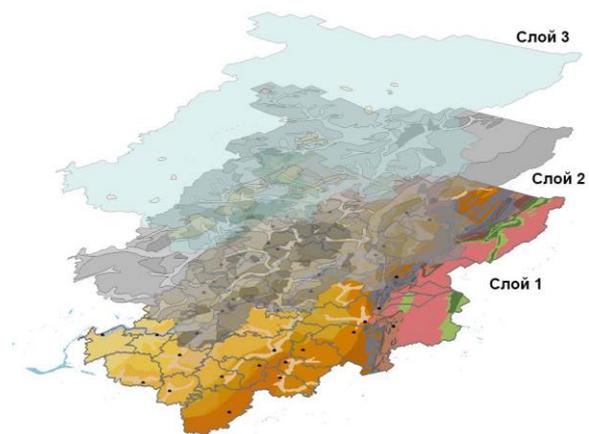
Среди слоев общего назначения фигурируют следующие:

- административные границы;
- населенные пункты;
- реки и озера.

Тематические слои представлены набором гидрогеологических данных:

- гидрогеологические области;
- границы гидрогеологических областей;
- гидрогеологические горизонты и комплексы;
- глубина залегания подземных вод;
- минерализация подземных вод;
- водообильные зоны;
- трещинные зоны.

Пример послойного построения ГИС-данных в результате наложения слоев, содержащих различную информацию, друг на друга приведен на рис. 1.



**Рис. 1.** Пример послойного построения ГИС-данных: слой 1 – гидрогеологические горизонты и комплексы + населенные пункты + водные объекты; слой 2 – глубина залегания подземных вод; слой 3 – минерализация подземных вод

В пределах Пермского края выделяются 3 гидрогеологические области, в общем плане совпадающие с такими тектоническими макроструктурами, как Уральская складчатая зона, Предуральский краевой прогиб и Русская платформа. Каждая область дополнительно подразделяется на ряд подобластей (рис. 3, А).

На территории Пермского края развита 21 разновидность постоянно существующих водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных к породам и грунтам различного возраста, состава и состояния (рис. 2).

Наиболее широко в пределах края развиты подземные воды, приуроченные к терригенным и трещинно-карстовым отложениям пермского возраста (Р). Такие постоянно существующие гидрогеологические горизонты встречаются практически во всей центральной и западной частях края – переходной зоне от платформ к горно-складчатой области.

На северо-востоке края, в пределах Уральской складчатой области, получили развитие подземные воды, приуроченные к каменноугольно-девонским (С–D), ордовикско-силурийским (O–S) и протерозойско-палеозойским (PR–PZ) комплексам, сложенным преимущественно карбонатными и терригенно-карбонатными породами.

На северо-западе территории края в пределах восточной окраины Русской плиты встречаются гидрогеологические горизонты, развитые в мезозойских (MZ) терригенных образованиях юрской (J) и меловой (K) систем.

На севере края расположен постоянно действующий горизонт подземных вод, приуроченных к ледниковым флювиогляциальным рыхлым (суглинисто-песчанистым) грунтам четвертичного времени (fglQ). Четвертичные рыхлые грунтовые отложения аллювиально-делювиального, элювиального и биогенного генезиса, развитые с поверхности практически повсеместно в пределах всей территории Пермского края, характеризуются непостоянством уровней и спора-

дичностью распространения подземных вод, в связи с чем в отдельный комплекс не обособлены.

Различие глубин залегания уровней подземных вод в рамках края в целом и отдельных его частях контролируется структурно-тектоническими особенностями строения территории как на макро-, так и на мезо- и микроуровне. Общая тенденция такова, что глубина появления и установления подземных вод становится все ближе к земной поверхности по мере движения с востока на запад, а также при приближении к крупным дренам района – рекам Кама, Чусовая, Сытва (рис. 3, Б).

В гидрохимическом отношении на всей территории края в приповерхностной части разреза преобладают подземные воды с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup> (рис. 3, В). Очаги повышенной минерализации приурочены к районам развития карбонатно-сульфатных (Кунгурский, Добрянский, Ординский, Октябрьский, Кишертский, Суксунский, Уинский и Чернушинский районы) и соляных (Березниковский и Соликамский районы) отложений пермского возраста. Заметим, что при составлении схемы изменчивости минерализации подземных вод учтены только естественные факторы формирования их химического состава.

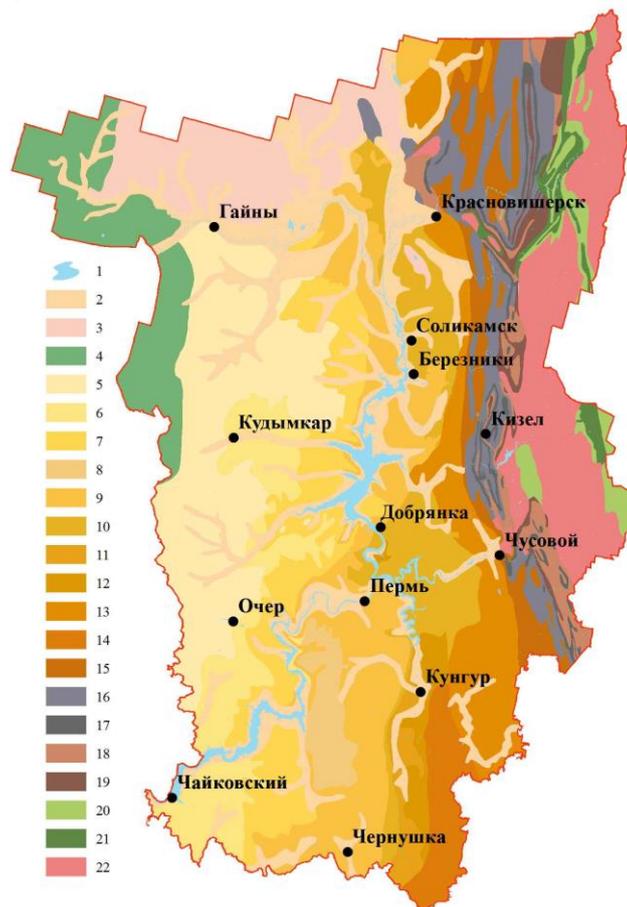
Участки водообильных зон в пределах края практически полностью развиты в пределах Уральской складчатой зоны. Трещинные зоны, с которыми обычно связаны возможные вертикальные перетоки и напорный характер вод, также контролируются структурно-тектоническим планом и главным образом приурочены к структурам второго и третьего порядка (рис. 3, Г).

Итоговый ГИС-проект представляет собой компиляцию существующего районирования Л.А. и И.А. Шимановских с актуальными гидрогеологическими данными, полученными в ходе карстологических исследований на участках развития сульфатного и карбонатно-сульфатного карста, административно приуроченных к Добрянскому и Октябрьскому районам [8,

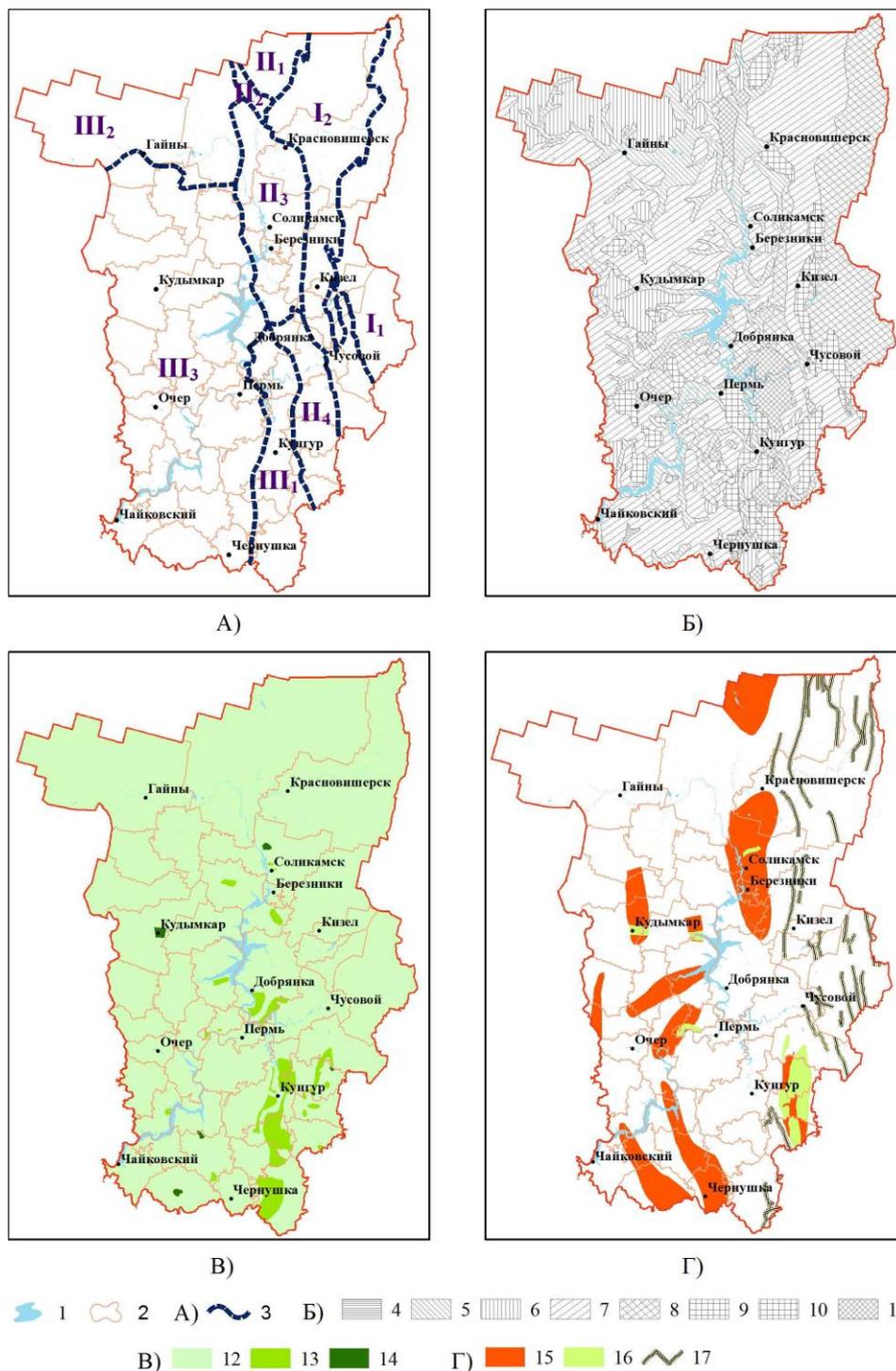
9]. Используются также результаты экологических изысканий в границах г. Перми. Проведенные исследования позволили уточнить границы различных по глубине залегания, химическому составу подземных вод и отразить их в конечном продукте – карте.

Закономерности гидрогеологического строения Пермского края сведены в еди-

ную ГИС-данных, просмотр которой доступен средствами бесплатного приложения ESRI ArcReader 10. В дополнение к ГИС-данным оформлена электронная карта в графическом растровом формате «jpg» масштаба 1:600000, подготовленная для печати в формате А0.



**Рис. 2.** Гидрогеологические горизонты и комплексы (1 – водные объекты): 2 – рыхлые четвертичные аллювиальные отложения ( $adQ$ ); 3 – рыхлые четвертичные флювиогляциальные отложения ( $fglQ$ ); 4 – мезозойский терригенный ( $Mz$ ); 5 – татарский терригенный ( $P_{zt}$ ); 6 – белебеевский терригенный, перекрытый спорадически обводненными татарскими отложениями ( $P_{zt}+P_{2bl}$ ); 7 – белебеевский терригенный ( $P_{2bl}$ ); 8 – шешминский терригенный, перекрытый спорадически обводненными белебеевскими отложениями ( $P_{2bl}+P_{1ss}$ ); 9 – шешминский терригенный ( $P_{1ss}$ ); 10 – соликамский карбонатно-терригенный ( $P_{1sl}$ ); 11 – иренский гипсово-ангидритовый (на туюйской карбонатной относительно водоупорной пачке развит лунежский горизонт карстовых вод, ниже – разобщенные карстовые водотоки) ( $P_{1ir}$ ); 12 – спорадически обводненные иренские отложения (разобщенные карстовые водотоки нижней части иренской свиты) ( $P_{1ir}$ ); 13 – кунгурский терригенный ( $P_{1kg}$ ); 14 – артинско-филипповский карбонатный ( $P_{1a-fl}$ ); 15 – ассельско-артинский терригенный ( $P_{1as-a}$ ); 16 – визейско-артинский карбонатный ( $C_{1v}-P_{1a}$ ); 17 – западно-уральский спорадически обводненный региональный водоупор ( $hC_{1v}$ ); 18 – франско-турнейский карбонатный ( $D_{zfr}-C_{1t}$ ); 19 – девонский терригенный ( $D$ ); 20 – ордовикско-силурийский терригенный ( $O-S$ ); 21 – ордовикско-силурийский карбонатный ( $O-Sk$ ); 22 – протерозойско-нижнепалеозойский терригенно-карбонатный ( $PR-PZ_1$ )



**Рис. 3.** Основные слои ГИС-карты: 1 – водные объекты; 2 – административные районы. 3 – гидрогеологические области и их границы: I<sub>1</sub> – Центральная часть Урала; I<sub>2</sub> – Западная часть Урала; II<sub>1</sub> – Верхнепечерская; II<sub>2</sub> – Ксенофонтовская-Колвинская; II<sub>3</sub> – Соликамская впадина; II<sub>4</sub> – Юрюзано-Сылвенская впадина; III<sub>1</sub> – Уфимское плато; III<sub>2</sub> – Северная; III<sub>3</sub> – Камская. Глубина залегания подземных вод (м): 4 – 0-10; 5 – 0-20; 6 – 10-50; 7 – 10-100; 8 – 10-150; 9 – 25-100; 10 – 25-150; 11 – 50-150. Минерализация подземных вод (г/дм<sup>3</sup>): 12 – менее 1; 13 – 1-3; 14 – более 3. Трещинные зоны: 15 – участки возможного подъема высокоминерализованных вод глубоких горизонтов; 16 – участки трещинных зон, связанные с образованием валов, где происходит подъем высокоминерализованных вод из глубоких водоносных комплексов; 17 – водообильные зоны

## Выводы

1. Привлечение максимально широкого спектра материалов исследований прошлых лет не только позволяет оценивать природные условия района или участка работ, но и способствует повышению точности планирования отдельных видов и объемов намечаемых изысканий.

2. В настоящее время остро стоит вопрос по переводу накопленных литературных данных и картографических материалов в цифровую форму с привязкой и векторизацией последних посредством ГИС-систем. Это позволит не только систематизировать уже известные сведения, но и значительно ускорить время их обработки и анализа при создании новых проектов, а также обеспечить доступ к архивным данным максимально широкому кругу специалистов.

3. Для территории Пермского края создана пилотная интерактивная ГИС-карта, использование которой дает возможность оперативной предварительной оценки геолого-гидрогеологических условий исследуемых районов, в т.ч. их приуроченности к определенным литолого-стратиграфическим комплексам, прогнозирования ожидаемых уровней и химизма подземных вод.

4. Данная карта будет полезна специалистам, работающим в сферах гидрогеологических исследований, инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий, а также органам местного самоуправления и администрациям, осуществляющим свою деятельность на местах.

5. Необходимо расширять и уточнять ГИС-данные новыми сведениями о гидрогеологических горизонтах и комплексах, их характеристиках и свойствах. В качестве основных данных следует принять материалы гидрогеологической съемки масштаба 1:200000, которой покрыта большая часть территории Пермского края.

6. «Слепок» пилотной версии ГИС-карты будет размещен на сайте лаборато-

рии прогнозного моделирования в геосистемах Пермского государственного университета – karst.psu.ru.

## Библиографический список

1. База знаний: карты/ Институт геоэкологии РАН. URL: <http://www.hge.spbu.ru/mapgis/start.html>.
2. Геологическая библиотека GeoKniga. URL: <http://www.geokniga.org>.
3. Катаев В.Н., Щукова И.В. Подземные воды города Перми. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2006. 142 с.
4. Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 3. С. 198–214.
5. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 3. С. 195–197.
6. Осипов В.И., Бузова В.Н., Заиканова В.Г., Молодых И.И., Пырченко В.А., Савицько И.С. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 4. С. 306–318.
7. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1973. 198с.
8. Щербаков С.В. Актуализация исследований прошлых лет с целью оценки карстоопасности территории Добрянского района Пермского края // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XVIII Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. С. 488-489.
9. Щербаков С.В. Подземные карстовые формы на территории пос. Октябрьский Пермского края // Инженерные изыскания в строительстве: матер. VIII науч.-практ. конф. / ПНИИИС. М., 2012. С. 71-75.
10. Eskelinen R., Ala-aho P., Rossi P.M., Klove B. A GIS-based method for predicting groundwater discharge areas in esker aquifers in the Boreal region // Environmental Earth Sciences. 2015. Vol. 74, Issue 5. P. 4109-4118.
11. Shah Z.U.H., Ahmad Z. Hydrochemical mapping of the Upper Thal Doab (Pakistan) using the geographic information system // Environmental Earth Sciences. 2015. Vol. 74, Issue 3. P. 2757-2773.

# Application of GIS-Technology for Small-Scale Hydrogeological Zonation (an Example from Permskiy Krai)

S.V. Shcherbakov, A.V. Shilova, D.R. Zolotarev

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: greyvr@mail.ru, shilova-av@yandex.ru, zolotarevdr@mail.ru

A need of systematization and analysis of previously obtained data using modern Geographic Information Systems (GIS) is considered. Article presents the detailed description of electronic map “Hydrogeological conditions of the surficial part of Permskiy krai territory”, which was created with usage the materials of past study. The 1:600000 scale map contains slices with information about hydrogeological zonation of Permskiy krai, hydrogeological horizons and complexes of rocks, water levels and mineralization of ground water, fissured zones, sites of possible uplift of high-mineralized water from deep aquifers. Map could be helpful for hydrogeologists, engineering geologists, local authorities and households in realization of engineering projects, such as building and construction of water wells.

Key words: *Permskiy krai, GIS-project, zonation, hydrogeology, groundwater.*

## References

1. *Baza Znaniy: Karty. Elektronnyy portal Instituta geologii RAN [Knowledge Base: Maps. Electronic portal of IEG RAS]. URL: <http://www.hge.spbu.ru/mapgis/start.html> (accessed 02.15.2016) (in Russian)*
2. *Geologicheskaya biblioteka GeoKniga. Elektronnyy portal [Geological library Geokniga. Electronic portal]. URL: <http://www.geokiniga.org> (accessed 02.15.2016) (in Russian)*
3. *Kataev V.N., Shchukova I.V. 2006. Podzemnye vody goroda Permi [Groundwater of Perm city]. Perm: Perm State University, p. 142*
4. *Mironov O.K. 2011. Geoinformatsionnye tekhnologii dlya sostavleniya krupnomasshtabnykh geologicheskikh kart territorii g. Moskvy [Geoinformatic technologies for the large-scale geological mapping of city of Moscow]. Geoecologiya. 3:198–214. (in Russian)*
5. *Osipov V.I. 2011. Krupnomasshtabnoe geologicheskoe kartirovanie territorii g. Moskvy [Large-scale geological mapping of Moscow area]. Geoecologiya. 3:195–197. (in Russian)*
6. *Osipov V.I., Burova B.N., Zaikanova V.G., Molodykh I.I., Pyrchenko V.A., Savisko I.S. 2011. Karta krupnomasshtabnogo (detalnogo) inzhenerno-geologicheskogo rayonirovaniya territorii g. Moskvy [Large-scale (detailed) map of engineering geological zoning of Moscow territory]. Geoecologiya. 4:306–318. (in Russian)*
7. *Shimanovsky L.A., Shimanovskaya I.A. 1973. Presnye podzemnye vody Permskoy oblasti [Fresh groundwater of Perm region]. Perm, Permskoe knizhnoe izdatelstvo, p. 198. (in Russian)*
8. *Shcherbakov S.V. 2014. Aktualizatsiya issledovaniy proshlykh let s tselyu otsenki karstoopasnosti territorii Dobryanskogo rayona Permskogo kraia [Actualization of old materials for purposes of estimation of karst hazard on the territory of Dobryanskiy rayon, Permskiy krai]. In Problemy geologii i osvoeniya nedr. Tomsk. 1:488–489. (in Russian)*
9. *Shcherbakov S.V. 2012. Podzemnye karstovye formy na territorii poselka Oktyabrskiy Permskogo kraia [Underground karst forms on the territory of town Oktyabrskiy of Permskiy krai]. In Inzhenernye iziskaniya v stroitelstve. Moscow: PNIIS: 71–75.*
10. *Eskelinen R., Ala-aho P., Rossi P.M., Klove B. 2015. A GIS-based method for predicting groundwater discharge areas in esker aquifers in the Boreal region. Environmental Earth Sciences. 74(5):4109–4118. doi: 10.1007/s12665-015-4491-7*
11. *Shah Z.U.H., Ahmad Z. 2015. Hydrochemical mapping of the Upper Thal Doab (Pakistan) using the geographic information system. Environmental Earth Sciences. 74(3):2757–2773. doi: 10.1007/s12665-015-4463-y*