

УДК 556, 550.8.053

ОЦЕНКА ВЕДУЩИХ ФАКТОРОВ ЭВОЛЮЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. ИРКУТСКА)

Лоншаков Григорий Сергеевич¹,
rgm-10-1@mail.ru

Аузина Лариса Ивановна¹,
lauzina@mail.ru

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Актуальность работы. Изучение путей и механизмов антропогенной трансформации подземной гидросферы урбанизированных территорий является актуальной задачей современных исследований. Подъем уровня подземных вод и формирование техногенных водоносных горизонтов угрожают активизацией и развитием ряда опасных инженерно-геологических процессов, что и наблюдается на данный момент в ряде районов города Иркутска. Данный факт ставит задачу прогноза и контроля состояния подземной гидросферы для целей устойчивого развития города и геологической безопасности. Представленная работа позиционируется как часть исследования, направленного на комплексную оценку устойчивости подземной гидросферы урбанизированных территории.

Цель работы: определение комплекса ведущих факторов, приводящих к техногенной эволюции подземной гидросферы города на основании теоретических представлений о механизмах её формирования и трансформации, численная оценка распределения каждого фактора нагрузки по площади и районирование территории города Иркутска в соответствии со степенью техногенной нагрузки.

Методы исследования. Выполнен анализ схем заложения водопроводящих подземных коммуникаций, карты улично-дорожной сети и актуального плана застройки города Иркутска с применением авторских алгоритмов обработки и представления информации в среде открытых ГИС программ.

Результаты. Детально охарактеризованы выбранные факторы нагрузки и результаты их взаимодействия с геологической средой города. Предложена методика численной оценки степени интенсивности и площадного распространения для каждого из факторов, созданы карты плотности (карта плотности заложения напорных подземных коммуникации, карта плотности улично-дорожной сети, схема плотности застройки центральной части города Иркутска), выполнено районирование территории города по степени плотности заложения подземных коммуникации и по плотности улично-дорожной сети.

Ключевые слова:

Природно-техногенная система, плотность, подземные коммуникации, подземная гидросфера, геоинформационные технологии.

Введение

С 80-х гг. XX в. в России формируется повышенный интерес к экологическим аспектам взаимодействия человека с геологической средой. Значительный вклад в нарушение природной геологической среды вносит процесс урбанизации территорий. К настоящему времени стало ясно, что воздействие на геологическую среду в ряде городов превысило допустимые границы и привело к порогу локального экологического бедствия, основным признаком которого является активизация инженерно-геологических процессов.

В контексте данной работы урбанизированные территории рассматриваются как управляемые природно-техногенные системы (ПТС), т. е. преобразованные коренные экосистемы и встроенные в них человеком искусственные сооружения [1].

Потенциал устойчивости коренных экосистем в общем виде определяет способность природной среды возвращаться к исходному состоянию в случаях как естественных, так и антропогенных воздействий. Исходный потенциал устойчивости экосистем в Прибайкалье оценивался в 40–45 баллов, сейчас интегральная оценка уровня устойчивости с учетом антропогенной трансформации составляет 21–35 баллов, около 15 % площадей вообще

утратили свойства коренной экосистемы, более 1,2 % территории полностью разрушены под воздействием урбанизации [2].

В процессе исторического развития на территории города Иркутска сформировалась ПТС, где ведущими процессами, влияющими на эволюцию геологической среды, являются техногенные. Самая динамичная её составляющая, наиболее остро воспринимающая техногенное воздействие, – это подземная гидросфера (ПГ). В результате техногенеза активизируется ряд инженерно-геологических процессов, связанных с подземными водами, в том числе суффозионно-просадочные, эрозионные, подтопление, балльная оценка которых позволила сформировать интегральную карту опасности развития инженерно-геологических процессов (рис. 1). Однако в представленной карте отражен результат, а не факторы, его формирующие. Для разработки природоохранных мероприятий, т. е. прикладного использования результатов научных исследований, необходимо выявить и оценить причины происходящих процессов, состоящие из двух блоков факторов, определяющих природный потенциал устойчивости ПТС и ведущие техногенные нагрузки. В связи с этим комплексная оценка устойчивости подземной гидросферы урба-

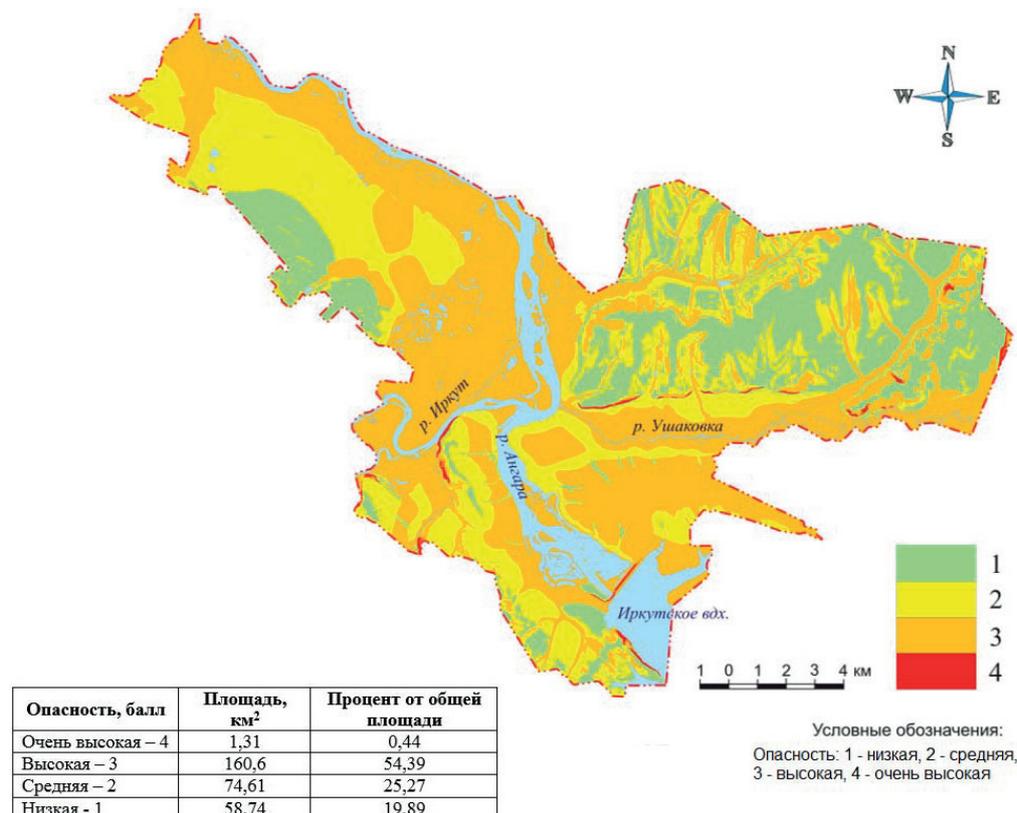


Рис. 1. Карта опасности инженерно-геологических процессов на территории г. Иркутска [10]

Fig. 1. Map of geological hazards risk on the territory of Irkutsk [10]

низированных территорий является не только актуальной, но и одной из важнейших проблем, имеющих как научное, так и прикладное значение.

Разнообразие природно-техногенных факторов, воздействующих на объект исследования, их интенсивная динамика усложняют задачу, однако уровень современных геоинформационных технологии открывает новые пути в решении прикладных задач в области природопользования, в том числе – анализе, прогнозе и контроле состояния ПТС [3–6].

В работах по экологии и экологической гидрогеологии чаще всего описывается методика выделения ведущих факторов, определяющих устойчивость ПГ и приводящих к её эволюции и изменению по отношению к конкретному виду техногенеза [7, 8].

Представленные в данной статье результаты – это часть комплексного исследования, конечной целью которого является разработка методики оценки комплекса ведущих природных и техногенных факторов, влияющих на эволюцию ПГ городских территорий, и уточнение структуры комплексного показателя устойчивости подземной гидросферы [9].

Объект исследования и методика

В качестве объекта исследования рассматривается природно-техногенная система г. Иркутска. Исследование включает в себя составление актуальной модели ПТС, состоящей:

- из геологических и гидрогеологических показателей, определяющих ее естественное состояние;
- техногенных факторов, определяющих развитие и трансформацию ПГ.

Показатели исходного состояния подземной гидросферы характеризуют условия формирования фильтрационных потоков в естественных условиях. Это большой комплекс характеристик, в том числе тип гидрогеологической структуры, литологический состав водовмещающих отложений, их мощность, степень трещиноватости, фильтрационные характеристики, гидродинамический режим, гидрогеохимические показатели и т. д. [7, 8].

Техногенное воздействие вызывает существенные изменения естественных потоков и, в соответствии с кривой Нолана, приводит ПТС к устойчивому состоянию в новом качестве (рис. 2, IIIa) или же к её деструкции под воздействием инженерно-геологических процессов (рис. 2, IIIб). Определить критерии устойчивости как скорость возврата ПГ в исходное состояние – достаточно сложная задача, связанная с выбором параметров оценок исходного состояния, естественной траекторией саморазвития ПГ и определением техногенной составляющей в эволюции и деградации ПГ.

Отметим, что в развитии техногенной нагрузки существуют две опасные тенденции:

- увеличение объема (количества объектов, массы отходов, интенсивности процессов и т. д.);

- увеличение разнообразия и разнородности, что не менее опасно для изменения экологического состояния территории.

Показатели техногенной нагрузки должны отражать:

- характер и разнообразие техногенной нагрузки;
- площадь и глубину ее влияния.

Комплексирование этих показателей позволяет разработать интегральный показатель устойчивости ПГ, т. е. комплексный показатель состояния подземной гидросферы (КПГ), позволяющий оценить соотношение основных факторов нагрузки и устойчивости на стадии стабильного существования ПГ (рис. 2, II) [9].

Для оптимизации разработки КПГ на базе современной открытой ГИС-системы Quantum GIS был сформирован ГИС-проект под названием «Атлас геолого-гидрогеологических и техногенных условий территории г. Иркутска», в котором каждый фактор представлен в виде самостоятельного растрового или векторного слоя.

В качестве ведущих техногенных факторов эволюции свойств подземной гидросферы рассматриваются [11–17]:

- плотность застройки территории города;
- утечки из водонесущих коммуникации;
- плотность улично-дорожной сети.

Перечисленные нагрузки предопределяют процессы:

- подтопления или подпора ПВ;
- изменения структуры гидродинамических потоков и формирования различного вида инверсий;
- перераспределения поверхностного и подземного стока;
- загрязнения ПВ и пр. [18].

Характеристика основных техногенных факторов, включенных в расчет КПГ

Застройка территории города

Территория города Иркутска занимает 30,6 тыс. га, из которых городской застройкой занято 11,95 тыс. га, что составляет 33,1 % всех городских земель. Значительную территорию занимают леса (6,35 тыс. га, или 22,9 %), водные пространства (2,87 тыс. га, или 10,4 %), луга и пойменные территории (4,26 тыс. га, или 15,4 %).

Селитебные территории в общем объеме земельного фонда города занимают 8,36 тыс. га, или 30,2 %. В границах города большая часть селитебных территорий занята некапитальной низкоплотной жилой застройкой, в основном имеющей высокий уровень физического износа. Значительные площади приходятся на промышленные и коммунально-складские объекты, зачастую занимающие самые ответственные в градостроительном плане территории.

К настоящему времени в городе сформировалось пять крупных промышленных зон – Северная, Жилкинская, Мельниковская, Маратовская и Восточная [19]. В них входит около 500 различных предприятий, баз, складов, гаражей и других объектов общей территорией около 2 тыс. га. По своему составу и отраслевому профилю промышленные зоны неоднородны.

В соответствии с СП 11–105–97 [20] и планом застройки г. Иркутска (ЗАО «Гражданпроект», с изменениями АО «ГИПРОДОРНИИ», 2015 г.), по этажности и конструктивным особенностям были выделены следующие районы: зона 1–2 этажной деревянной застройки (около 25 % застроенной территории), зона 1–2 этажной каменной застройки (около 25 %, в центральной части преимущественно жилая, на периферийных районах – промышленные ангары и боксы), зона 3–5 этажной

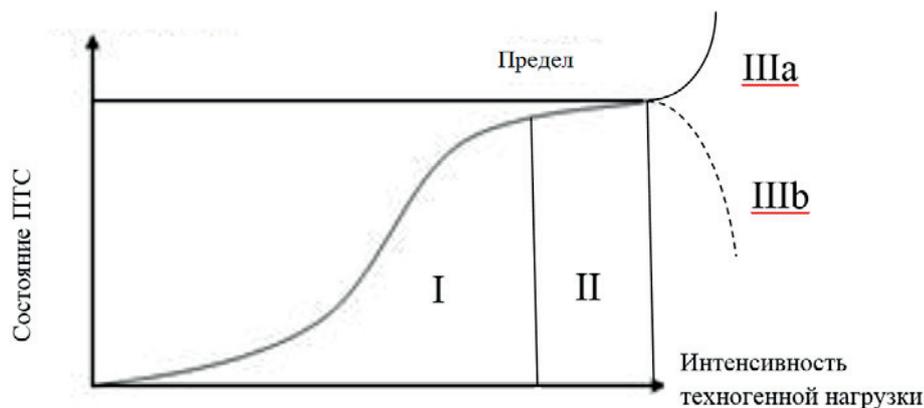


Рис. 2. Кривая развития ПТС (кривая Нолана). I – стадия роста техногенной нагрузки; II – стадия удержания (стабильного существования ПТС); IIIa – переход ПТС на новый уровень развития (новое устойчивое состояние); IIIb – деградация ПТС

Fig. 2. Typical state curve of natural and anthropogenic systems (Nolan's curve). I is the stage of increasing of anthropogenic influence; II is the stage of sustainable development, IIIa is the system changes over to next sustainable level; IIIb is the degradation of the system

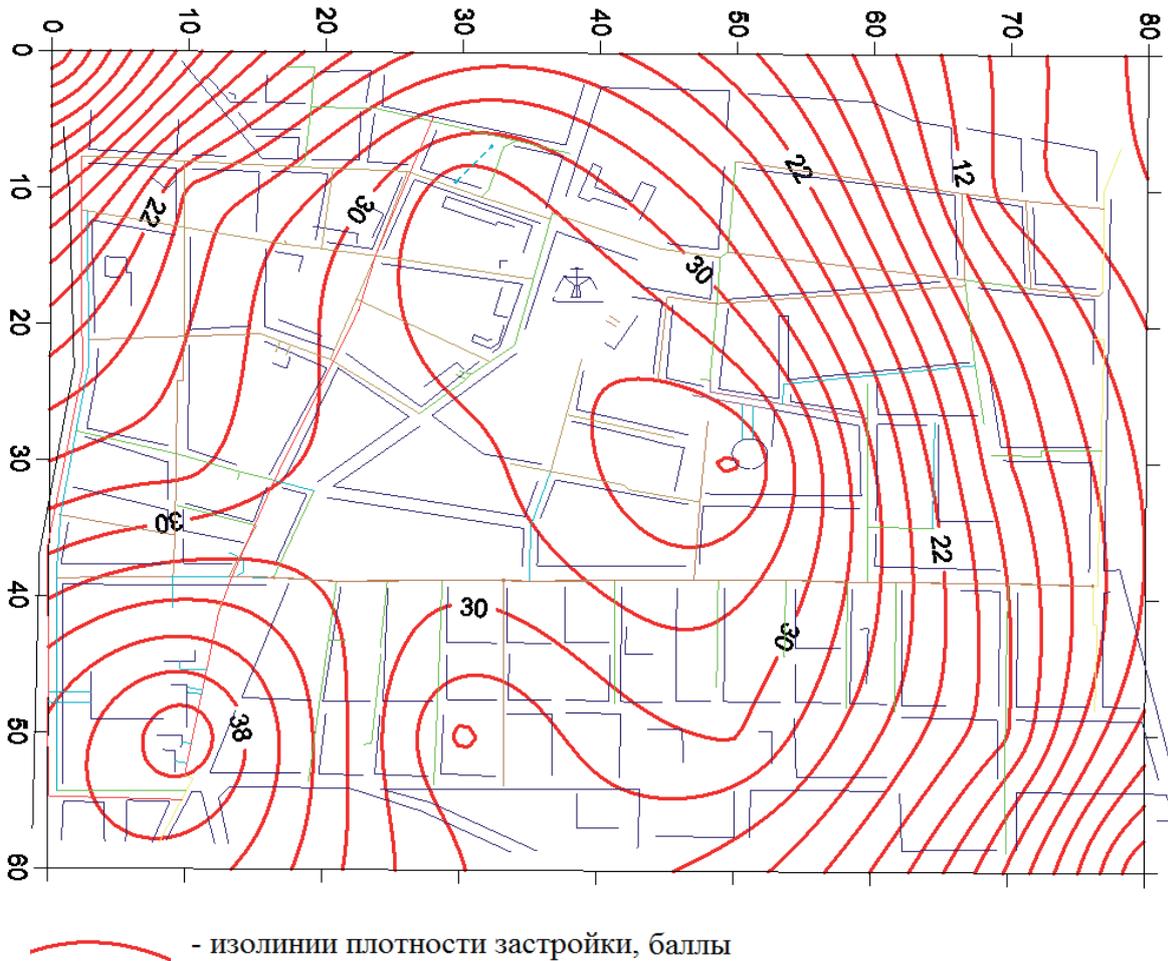


Рис. 3. Схема плотности застройки центральной части города Иркутск

Fig. 3. Building density of central district of Irkutsk

(40 %) и застройки каменными зданиями более 5 этажей (10 % застроенной территории).

Для оценки степени техногенного влияния, оказываемого застройкой, в ГИС- проект включен генеральный план и схема плотности застройки центральной части города (рис. 2) [11]. Плотность застройки рассчитана в баллах по следующему алгоритму:

$$\rho_{1-4} = (S_{1-4} * K_{1-4}) / S, \quad \Sigma \rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4,$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – площадь, занятая зданиями и сооружениями различной этажности с учётом типа материала (дерево, кирпич); S – площадь расчетного квадрата, m^2 ; $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ – плотность зданий и сооружений различной этажности и типа материала (дерево, камень); K – коэффициент, отражающий этажность и тип материала (например, зона 1–2 этажной деревянной застройки имеет $K=1$).

Подземные водонесущие коммуникаций

На балансе МУП «Водоканал» находится 746 км сетей водопровода и 718 км сетей канализации (без учета подземных коммуникаций микрорайона «Второй Иркутск» и частных сетей, подве-

денных к индивидуальным водопользователям). Ежедневный объем подаваемой в водопровод воды составляет 304,36 тыс. m^3 (2012 г.).

Что касается тепловых сетей г. Иркутска, то большая их часть имеют срок эксплуатации более 25–30 лет. Распределительные квартальные сети практически не подвергались модернизации, являются изношенными и требуют замены. Уровень тепловых потерь составляет 6,5–14 %, а процент износа тепловых сетей доходит до 70 % [21].

По официальным данным МУП «Водоканал» для Иркутска доля воды, приходящаяся на физические утечки, равна 6 % от общего числа подаваемой воды, однако фактически цифра составляет порядка 20–30 % [22].

Для сетей канализации ни нормативные, ни фактические значения не установлены.

По мнению ряда исследователей, в том числе зарубежных [23], утечки из сетей напорных подземных коммуникаций являются главной причиной развития подтопления урбанизированных территории, в связи с чем эта составляющая техногенной нагрузки является одной из важнейших.

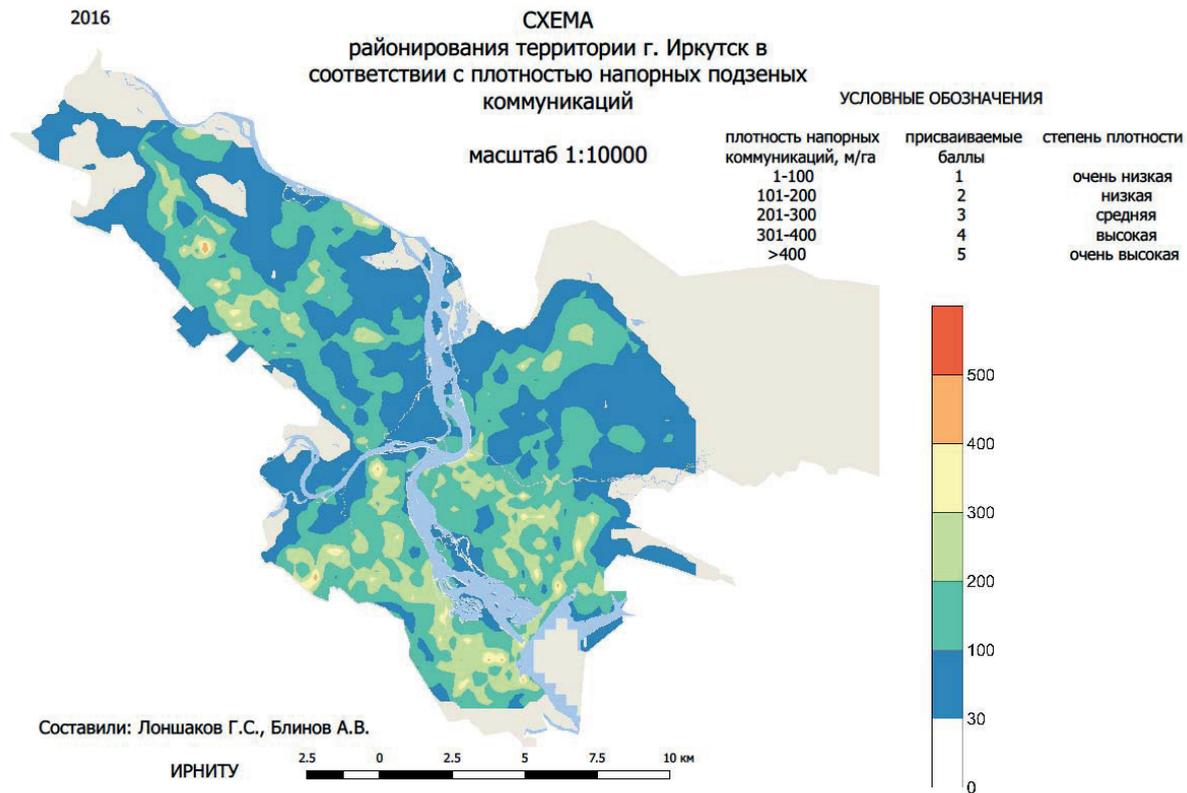


Рис. 4. Схема районирования территории г. Иркутск по степени плотности напорных подземных коммуникаций

Fig. 4. Zoning of the territory of Irkutsk according to pipeline distribution density

Авторами разработан алгоритм оценки плотности заложения подземных коммуникаций, в соответствии с которым для территории города Иркутска составлены схемы плотности водопроводной сети, теплопровода и канализации, а также интегральная схема плотности напорных коммуникаций, на основе которой произведено районирование территории города (рис. 4).

Улично-дорожная сеть

Протяженность всей дорожной сети города Иркутск составляет уже более 881 км, из них дороги третьего уровня (грунтовые и проселочные) составляют 154 км, второго уровня (дороги с усовершенствованным покрытием) – 547 км, и первого уровня (автомагистрали и железные дороги) – 180 км.

В 2007 г. была составлена электронная схема плотности дорожной сети (рис. 5). При составлении схемы территория города была районирована на 3 категории сложности исходя из значения плотности (0–3,6; 3,6–7,2; >7,2 км/км²) [13].

Развитие транспортной инфраструктуры в левобережном районе города снизило дренируемость местности, что вылилось в увеличение площади «озер» с 9 до 90 га за последние 35 лет (1972–2007) [24].

Инженерно-геологические процессы, развивающиеся на территории г. Иркутска в результате техногенного воздействия на ПГ

Рост промышленного и гражданского строительства, развитие городской инфраструктуры, мероприятия по благоустройству жилых массивов приводят к перемещению значительного количества грунтовых масс, увеличению объемов техногенных и техногенно-измененных грунтов, преобразованию условий теплообмена, инфильтрации, стока и разгрузки подземных вод, баланса грунтовых вод, равновесного состояния склонов и пр. [12]. Негативные последствия этих изменений – локальная активизация инженерно-геологических процессов, карта распространения которых была составлена А.А. Рыбченко под руководством Ю.Б. Трждинского (ИЗК СО РАН, 2009 г.) [10], рис. 6.

Проявления суффозионно-просадочных процессов в виде мелких, периодически появляющихся провалов фиксируется практически повсеместно в городской черте. Причиной их возникновения чаще всего становится искусственное увлажнение грунтовых масс, наличие в разрезе просадочных или насыпных неуплотненных грунтов, вследствие чего наиболее часто следы процесса наблюдаются по трассам водонесущих коммуникации и массивам искусственных насыпей.

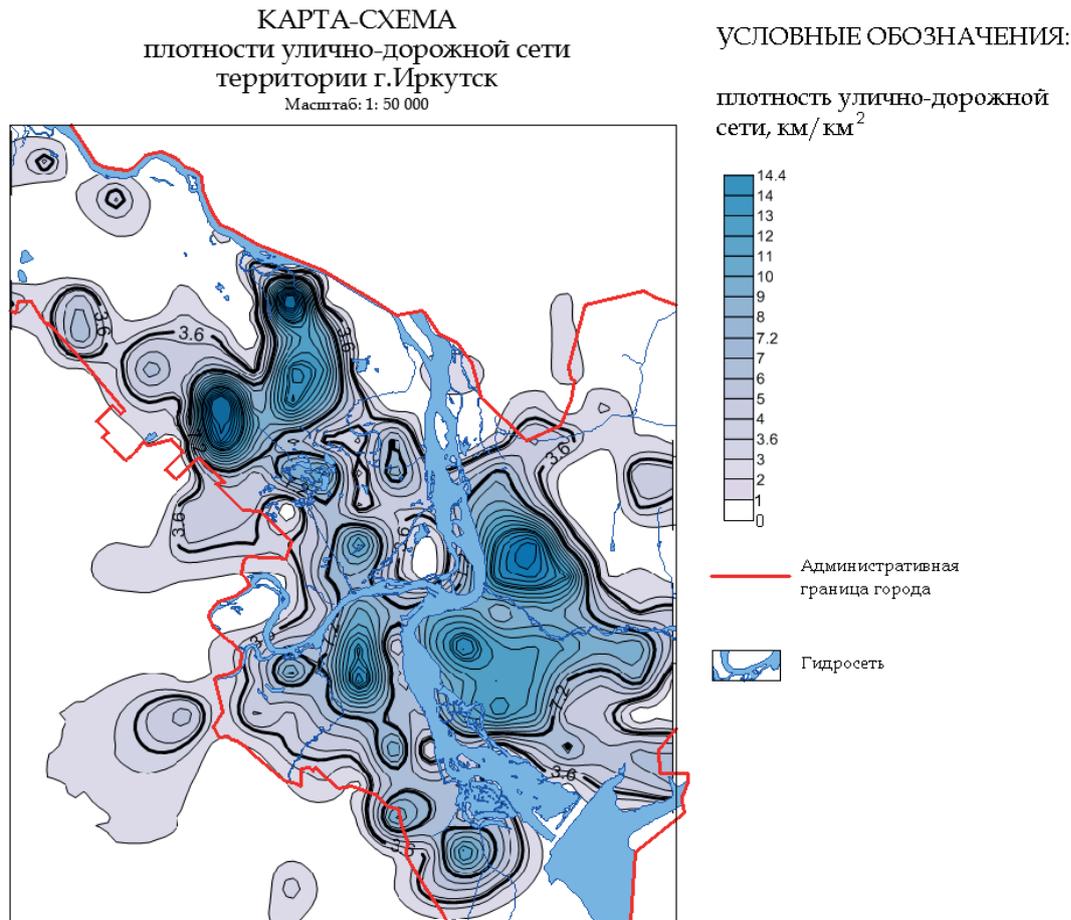


Рис. 5. Карта плотности дорожной сети на территории г. Иркутска

Fig. 5. Map of Irkutsk road network density

Развитие подтопления характерно для более чем трети территории города Иркутск. Ведущие российские и зарубежные исследователи в своих работах указывают на искусственное инфильтрационное питание в виде утечек из напорных подземных коммуникаций в качестве главной причины развития этого процесса [25–28].

Эрозия грунтовых массивов, а именно оврагообразование, на территории Иркутска связано с нарушением естественных потоков поверхностного стока вследствие неграмотного подхода к планировке территории (застройки, асфальтированию) и зачастую напрямую связано с суффозионно-просадочными процессами [24].

Для разработки КПП необходимо количественно оценить степень значимости выделенных природных и техногенных факторов устойчивости подземной гидросферы, что возможно реализовать в рамках ГИС-проекта методами многомерной площадной статистики, в т. ч. используя факторный анализ и метод главных компонент.

В результате определится набор статистически обоснованных параметров, увязанных с комплек-

сом показателей исходного состояния гидросферы и показателей техногенной нагрузки.

Основной задачей следующего этапа является выявление правил (закономерностей), а в идеальном варианте – уравнений, увязывающих выделенные факторы друг с другом и показателями исходного (природного) состояния системы.

Заключение

В работе приведена характеристика главных факторов техногенной эволюции подземной гидросферы урбанизированных территории и результаты их длительного взаимодействия с геологической средой города. Задача количественной оценки степени интенсивности и распространения упомянутых факторов решена применением авторской методики обработки векторной информации и представления её в виде растровых карт. Полученные карты плотности заложения коммуникации, застройки и улично-дорожной сети послужат основой для оценки суммарного техногенного влияния на подземную гидросферу при расчете комплексного показателя устойчивости подземной гидросферы.

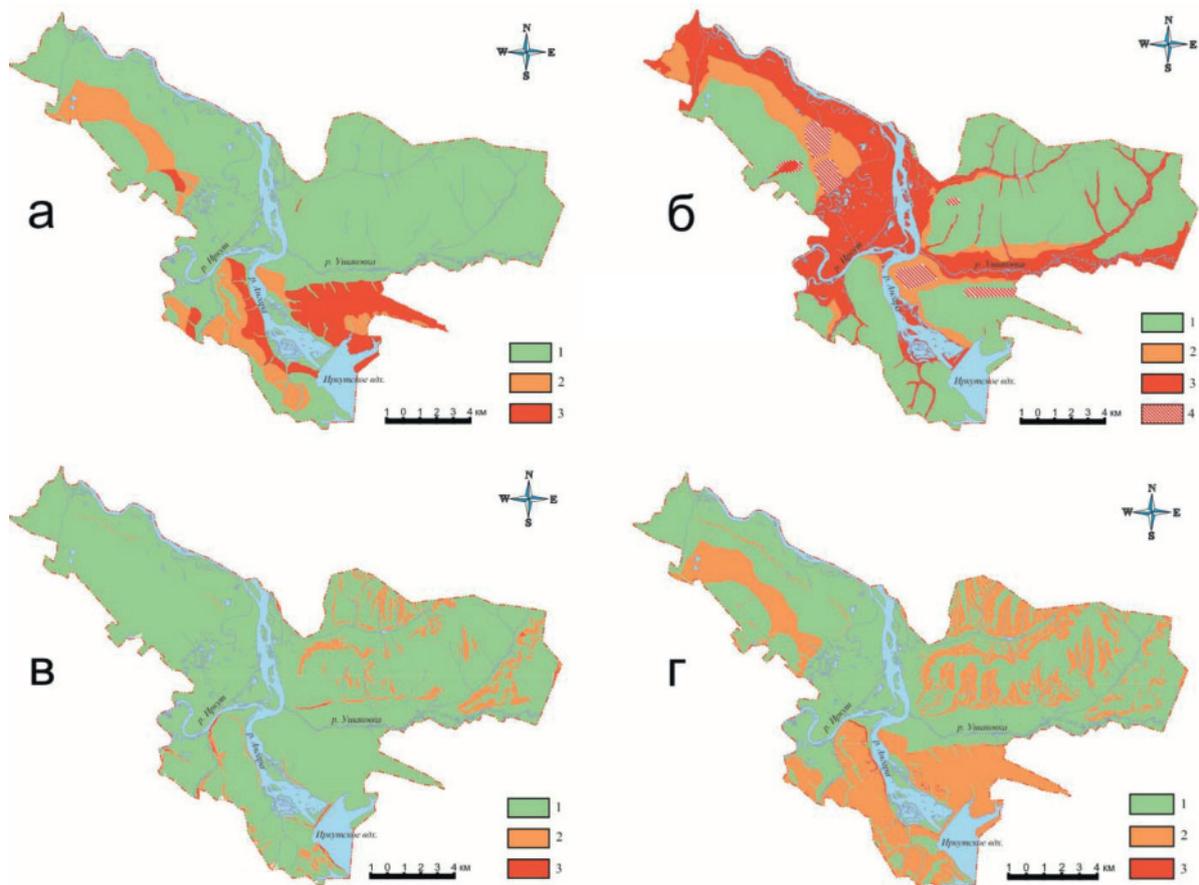


Рис. 6. Инженерно-геодинамические карты (А.А. Рыбченко, 2009): а) суффозионно-просадочного процесса; б) подтопления; в) эрозийного процесса; г) гравитационного процесса. Вероятность развития процесса: 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – низкая; 4 – техногенное подтопление

Fig. 6. Maps of geological hazards: а) underwashing; б) underflooding; в) soil erosion; г) landslide development. Hazard risk: 1 – high; 2 – medium; 3 – low; 4 – anthropogenic underflooding

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трждинский Ю.Б. Техногенные изменения геологической среды (на примере Сибирского региона) / под ред. К.Г. Леви. – Иркутск: [б. и.], 2007. – 117 с.
2. Онлайн атлас «Окружающая среда и здоровье населения России». URL: <http://www.sci.aha.ru/ATL/ra21b.htm> (дата обращения: 20 декабря 2016).
3. Кузеванов К.И., Дутова Е.М., Покровский Д.С. Использование геоинформационных технологий при исследовании процессов техногенного подтопления урбанизированных территорий (на примере г. Томска) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 7. – С. 30–35.
4. Покровский В.Д. Исследование процессов подтопления урбанизированных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере города Томска): дис. ... канд. геолого-минералогических наук. – Томск, 2015. – 199 с.
5. Hibbs B.J. Groundwater in urban areas // Journal of contemporary water research and education. – 2016. – Iss. 159. – P. 1–4.
6. Gill J.C., Malamud B.D. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework // Earth-Science Reviews. – 2017. – V. 166. – P. 246–269.
7. Белоусова А.П., Гавич И.К. Экологическая гидрогеология. – М.: Изд-во «Академкнига», 2006. – 397 с.
8. Хаустов А.П. Устойчивость подземной гидросферы и основы экологического нормирования. – М.: Изд-во ГЕОС, 2007. – 174 с.
9. Аузина Л.И. Комплексный показатель как основа оценки устойчивости подземной гидросферы // Город: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов «Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия». – Иркутск, 2000. – С. 154–158.
10. Рыбченко А.А. Инженерно-геодинамическая оценка современного состояния геологической среды г. Иркутска: дис. ... канд. геолого-минералогических наук. – Иркутск, 2009. – 148 с.
11. Оценка влияния техногенных нагрузок на верхнюю часть подземной гидросферы / Л.И. Аузина, В.А. Пеллинен, Ю.А. Щербакова, А.Н. Щербина // Сборник трудов Всероссийской симпозиума-конференции им. академика Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 168–170.
12. Шенькман Б.М., Шенькман И.Б. Эволюция гидрогеологических условий на территории Большого Иркутска // Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1997. – С. 39–43.
13. Грицик В.А., Щербакова Ю.А., Щербина А.Н. Роль дорожных систем в формировании устойчивости природно-техногенных комплексов городских агломерации // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сборник избранных трудов научно-технической конференции. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – С. 64–67.
14. Шенькман Б.М., Шолохов П.А., Шенькман И.Б. Подтопление Иркутска грунтовыми водами // География и природные ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 54–61.

15. Kevin R.G., John R.G. Chapter 19 – Natural and Anthropogenic Factors Affecting Groundwater in the Critical Zone of the Texas Triangle Megaregion // *Developments in Earth Surface Processes*. – 2015. – V. 19. – P. 579–618.
16. Hibbs B.J., Sharp J.M. Hydrogeological impact of the urbanization // *Environmental and engineering geoscience*. – 2012. – № 18 (1). – P. 3–24.
17. Spatial resolution of anthropogenic heat fluxes into urban aquifers / A.B. Susanne, P. Bayer, K. Menberg, S. Jung, P. Blum // *Science of the Total Environment*. – 2015. – V. 524–525. – P. 427–439.
18. Isotopic constraints on water source mixing, network leakage and contamination in an urban groundwater system / F. Grimmeisen, M.F. Lehmann, T. Liesch, N. Goepfert, J. Klinger, J. Zopfi, N. Goldscheider // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 583. – P. 202–213.
19. Генеральный план застройки города Иркутска, 2016 г. URL: <http://admirk.ru/pages/proekti-planir-territ-irkutska.aspx> (дата обращения 20 декабря 2016).
20. СП 11–105–97 Инженерные изыскания для строительства. Общие правила и положения. – М: ПНИИС, 1998. – 48 с.
21. Электронная энциклопедия РосТепло, Иркутск. URL: <http://www.rosteplo.ru/w/Иркутск> (дата обращения 19 декабря 2016 г.)
22. Эколого-экономические аспекты эксплуатации подземных вод Обь-Томского междуречья / В.К. Попов, О.Д. Лукашевич, В.А. Коробкин, В.В. Золотарева, Ю.Ю. Галямов. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003. – 174 с.
23. Gattinoni P., Scesi L. The groundwater rise in the urban area of Milan (Italy) and its interactions with underground structures and infrastructures // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2017, February. – V. 62. – P. 103–114.
24. Геоэкологические проблемы город Иркутска / В.В. Акулова, М.И. Грудинин, Т.Г. Рященко, Н.И. Демьянович // *Известия Иркутского государственного университета*. – 2008. – Т. 1. – № 1. – С. 22–32.
25. Identification of potential artificial groundwater recharge zones in Northwestern Saudi Arabia using GIS and Boolean logic / Faisal K. Zaidi, Yousef Nazzal, Izrar Ahmed, Muhammad Naeem, Muhammad Kamran Jafri // *Journal of African Earth Sciences*. – 2015. – V. 111. – P. 156–169.
26. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: a case study in a typical urbanised watershed in China / Zhenyao Shena, Xiaoshu Houa, Wen Li, Guzhanuer Aini, Lei Chena, Yongwei Gong // *Ecological Indicators*. – 2015. – V. 48. – P. 417–427.
27. Sangam S., Vishnu P.P. Chapter 1 – Groundwater as an Environmental Issue in Asian Cities // *Groundwater Environment in Asian Cities*. – 2016. – P. 1–13.
28. Chapter 5 – Groundwater Environment in Delhi, India / S. Aditya, A. Shakir, K. Suman, S. Shashank, S.V.N. Rao // *Groundwater Environment in Asian Cities*. – 2016. – P. 77–108.

Поступила 31.08.2017 г.

Информация об авторах

Лоншаков Г.С., аспирант кафедры прикладной геологии Иркутского национального исследовательского технического университета.

Аузина Л.И., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры прикладной геологии Иркутского национального исследовательского технического университета.

UDC 556, 550.8.053

EVALUATION OF DETERMINING FACTORS OF UNDERGROUND HYDROSPHERE EVOLUTION WITHIN URBAN AREAS (ON THE EXAMPLE OF IRKUTSK)

Grigoriy S. Lonshakov¹,

rgm-10-1@mail.ru

Larisa I. Auzina¹,

lauzina@mail.ru

¹ Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russia.

The relevance of the discussed issue. Studying the anthropogenic evolution and transformation of underground hydrosphere within urbanized territories is the relevant issue nowadays. Underflooding and forming of technogenic aquifers cause serious geological hazards, that has been seen in some districts of Irkutsk. That fact sets a problem of forecasting and controlling underground hydrosphere to maintain sustainable development and environmental compatibility of Irkutsk. This paper is positioned as a part of complex study of underground hydrosphere sustainability within urbanized territories.

The main aim is to define theoretically the complex of determining factors, which provide technogenic underground hydrosphere evolution within territory of Irkutsk, to evaluate numerically and to map each factor spatial distribution, zoning according to the level of anthropogenic influence.

The methods used in the study. The authors have analyzed the underground pipeline schemes, road network and land-use plan with the proprietary technique for processing and representation of spatial information, based on open-ware GIS.

The results. The authors described in details the major factors of anthropogenic influence on underground hydrosphere and results of its interaction with geological medium. Author's methods of numerical evaluation of gradation and spatial distribution of mentioned factors were applied, succeeded by mapping (map of density of underground pipeline distribution, road network density scheme and building density scheme were compiled).

Key words:

Natural and anthropogenic system, density, underground pipelines, underground hydrosphere, geoinformation technologies.

REFERENCES

1. Trzhtsinskiy Yu.B., Levy K.G. *Technogennye izmeneniya geologicheskoy sredy (na primere Sibirskogo regiona)* [Results of anthropogenic influence on geological medium (on the example of Siberian region)]. Irkutsk, 2007. 117 p.
2. *Okruzhayushchaya sreda i zdorovye naseleniya Rossii* [Environment and public health in Russia]. Available at: <http://www.sci.aha.ru/ATL/ra21b.htm> (accessed 20 December 2016).
3. Kuzevanov K.I., Dutova E.M., Pokrovskiy D.S. *Ispolzovanie geoinformatsionnykh tekhnologiy pri issledovanii protsessov podtopleniya urbanizirovannykh territoriy (na primere goroda Tomsk)* [Using of geoinformatic technologies in studying the anthropogenic underflooding of urbanized territories (on the example of Tomsk)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, no. 7, pp. 30–35.
4. Pokrovsky V.D. *Issledovanie protsessov podtopleniya urbanizirovannykh territoriy s ispolzovaniem geoinformatsionnykh tekhnologiy (na primere goroda Tomsk)*. Dis. Kand. nauk [Study of underflooding within urbanized territories using the geoinformatic systems (on the example of the Tomsk). Cand. Diss.]. Tomsk, 2015. 199 p.
5. Hibbs B.J. Groundwater in urban areas. *Journal of contemporary water research and education*, 2016, Iss. 159, pp. 1–4.
6. Gill J.C., Malamud B.D. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Reviews*, 2017, vol. 166, pp. 246–269.
7. Belousova A.P., Gavitch I.K. *Ecologicheskaya gidrogeologiya* [Ecological hydrogeology]. Moscow, Academkniga Publ., 2006. 397 p.
8. Khaustov A.P. *Ustoychivost podzemnoy gidrosfery i osnovy ekologicheskogo normirovaniya* [Undergrounhd hydrosphere sustainability and basis of ecological norming]. Moscow, GEOS Publ., 2007. 174 p.
9. Auzina L.I. *Compleksny pokazatel kak osnova otsenki ustoychivosti podzemnoy gidrosfery* [Composite indicator as a basis of underground hydrosphere sustainability evaluation]. *Gorod: proshloe, nastoyashchee, budushchee: sbornik nauchnykh trudov «Problemy razvitiya i upravleniya na poroge III tysyacheletiya»* [City: antecedent, present, future: proceedings of the symposium «Problems of urban development and management on the doorstep of the III millennium»]. Irkutsk, 2000. pp. 154–158.
10. Rybchenko A.A. *Inzhenerno-geodinamicheskaya otsenka sovremennogo sostoyaniya geologicheskoy sredy goroda Irkutsk*. Diss. Kand. nauk [Engineering-geodynamical assessment of the modern condition of geological medium within Irkutsk. Cand. Diss.]. Irkutsk, 2009. 148 p.
11. Auzina L.I., Pellinen V.A., Shcherbakova Yu.A., Shcherbina A.N. *Otsenka vliyaniya tekhnogennykh nagruzok na verkhnyuyu chast podzemnoy gidrosfery* [Evaluation of man-caused impact on the upper layers of underground hydrosphere]. *Sbornik trudov Vserossiyskoy simpoziuma-konferentsii im. Academica Usova* [Proc. All Russian symposium named after academician Usov]. Tomsk, TPU Publ., 2000. pp. 168–170.
12. Shenkman B.M., Shenkman I.B. *Evolutsiya gidrogeologicheskikh usloviy na territorii bolshogo Irkutsk* [Evolution of the hydrogeological conditions on the territory of Bolshoy Irkutsk]. *Problemy otsenki i prognoza ustoychivosti geologicheskoy sredy goroda Irkutsk* [Proc. Sym. Problems of evaluation and sustainability forecasting of the territory of Bolshoy Irkutsk]. Irkutsk, ISTU Publ., 1999. pp. 39–43.
13. Gritsik V.A., Shcherbakova Yu.A., Shcherbina A.N. *Rol dorozhnykh sistem v formirovaniy ustoychivosti prirodno-tekhnogennykh kompleksov gorodskikh aglomeratsiy* [Role of the road network in sustainable development of the natural and anthropogenic systems of the cities]. *Geologiya, poiski i razvedka poleznykh iskopaemykh: sbornik izbrannykh trudov nauchno-*

- technicheskoy konferentsii* [Proc. Symp. Geology and geological prospecting]. Irkutsk, ISTU Publ., 2007, pp. 64–67.
14. Shenkman B.M., Sholokhov P.A., Shenkman I.B. Podtoplenie Irkutskaya gruntovymi vodami [Underflooding of Irkutsk]. *Geography and natural resources*, 2011, no. 2, pp. 54–61.
 15. Kevin R.G., John R.G. Chapter 19 – Natural and Anthropogenic Factors Affecting Groundwater in the Critical Zone of the Texas Triangle Megaregion. *Developments in Earth Surface Processes*, 2015, vol. 19, pp. 579–618.
 16. Hibbs B.J., Sharp J.M. Hydrogeological impact of the urbanization. *Environmental and engineering geoscience*, 2012, no. 18 (1), pp. 3–24.
 17. Susanne A.B., Bayer P., Menberg K., Jung S., Blum P. Spatial resolution of anthropogenic heat fluxes into urban aquifers. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 524–525, pp. 427–439.
 18. Grimmeisen F., Lehmann M.F., Liesch T., Goepfert N., Klingner J., Zopfi J., Goldscheider N. Isotopic constraints on water source mixing, network leakage and contamination in an urban groundwater system. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 583, pp. 202–213.
 19. *Generalniy plan zastoyki goroda Irkutsk* [Development master plan of Irkutsk]. 2016. Available at: <http://admirk.ru/pages/proekti-planir-territ-irkutsk.aspx> (accessed 20 December 2016).
 20. *SP 11–105–97 Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Obshchie pravila i polozheniya* [Building regulations 11–105–97. Pre-building geotechnical survey. Common rules and regulations]. Moscow, PNIIS Publ., 1998. 48 p.
 21. *Elektronnaya entsiklopediya RosTeplo, Irkutsk* [Electronic encyclopedia of Russian heating supply, Irkutsk]. Available at: <http://www.rosteplo.ru/w/Иркутск> (accessed 15 December 2016).
 22. Popov V.K., Lukashevich O.D., Korobkin V.A., Zolotareva V.V., Galyamov Yu.Yu. *Ekologo-economichekieskie aspekty ekspluatatsii podzemnykh vod Ob-Tomskogo mezhdurechyia* [Ecological and economical aspects of using groundwater resources between the Ob and Tom rivers]. Tomsk, TGASU Publ., 2003. 174 p.
 23. Gattinoni P., Scesi L. The groundwater rise in the urban area of Milan (Italy) and its interactions with underground structures and infrastructures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2017, February, vol. 62, pp. 103–114.
 24. Akulova V.V., Grudinina M.I., Ryashchenko T.G., Demyanovich N.I. Geoecologicheskie problemy goroda Irkutsk [Geoecological problems of Irkutsk]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2008, vol. 1, no. 1, pp. 22–32.
 25. Faisal K. Zaidi, Yousef Nazzal, Izrar Ahmed, Muhammad Naem, Muhammad Kamran Jafri, Identification of potential artificial groundwater recharge zones in Northwestern Saudi Arabia using GIS and Boolean logic. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, vol. 111, pp. 156–169.
 26. Zhenyao Shena, Xiaoshu Houa, Wen Li, Guzhanuer Aini, Lei Chena, Yongwei Gong Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. *Ecological Indicators*, 2015, vol. 48, pp. 417–427.
 27. Sangam S., Vishnu P.P. Chapter 1 – Groundwater as an Environmental Issue in Asian Cities. *Groundwater Environment in Asian Cities*, 2016, pp. 1–13.
 28. Aditya S., Shakir A., Suman K., Shashank S., Rao S.V.N. Chapter 5 – Groundwater Environment in Delhi, India. *Groundwater Environment in Asian Cities*, 2016, pp. 77–108.

Received: 31 August 2017.

Information about the authors

Grigoriy S. Lonshakov, post-graduate student, Irkutsk National Research Technical University.

Larisa I. Auzina, Cand. Sc., associate professor, Irkutsk National Research Technical University.