
МЕТОДОЛОГИЯ
И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 624.131

**ВЫЯВЛЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОКОН
НА ОСНОВЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ г. МОСКВЫ**

© 2015 г. **И. А. Позднякова, И. В. Галицкая, О. К. Миронов, И. А. Костикова,
А. Л. Дорожко, Г. И. Батрак, Л. А. Матвеева, К. И. Фесель**

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: irina_pozd58@mail.ru*

Поступила в редакцию 02.07.2014 г.

Оригинальная методика картирования гидрогеологических окон основана на их выявлении по геологическому строению тощи, перекрывающей подольско-мячковский водоносный горизонт, изменению гидродинамических и гидрогеохимических условий на участках окон; времени вертикальной фильтрации загрязняющих веществ из надъюрского водоносного горизонта в подольско-мячковский. Учитываются не только распространение слабопроницаемых отложений по площади и в разрезе, но и изменение их мощности и проницаемости. Полученные результаты могут быть использованы для решения вопросов охраны подземных вод и разработки специального регламента хозяйственной деятельности на участках гидрогеологических окон.

Ключевые слова: *гидрогеологические окна, загрязнение, вертикальная фильтрация, фильтрационные расчеты, информационные технологии, линейменты, геодинамические активные зоны, крупномасштабное картирование.*

ВВЕДЕНИЕ

В Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН) в 2013 г. коллективом авторов для Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы начато составление “Карты границ гидрогеологических окон” для ряда округов г. Москвы. Под гидрогеологическими окнами понимаются участки геологической среды, на которых возможно быстрое проникновение загрязнения из приповерхностных водоносных горизонтов в глубокие через разделяющие слабопроницаемые отложения за счет нарушения их сплошности и увеличения проницаемости.

Выявление, картирование и оценка опасности гидрогеологических окон в перекрывающий подольско-мячковский водоносный горизонт толще были основными задачами при выполнении работ, так как этот горизонт в каменноугольных отложениях является основным резервным источником питьевого водоснабжения г. Москвы, а защита и охрана подземных вод от загрязнения имеют

особое значение. Карта может быть использована для оценки и прогнозирования загрязнения подземных вод, разработки специального регламентирования хозяйственной деятельности, при проектировании новых и эксплуатации действующих наземных и подземных объектов городской инфраструктуры и проведения природоохранных мероприятий на участках гидрогеологических окон.

Составленная карта стала логическим продолжением работ, начатых ИГЭ РАН в 2007–2009 гг. и продолженных в 2012 г., по созданию серии тематических геологических крупномасштабных карт территории г. Москвы в масштабе 1:10 000 по распоряжению Правительства Москвы № 518-РП от 26.03.2007 [10]. При ее создании были использованы геологические карты каменноугольных и дочетвертичных отложений, гидрогеологическая карта, карта районирования по условиям взаимосвязи водоносных горизонтов с элементами защищенности подольско-мячковского водоносного горизонта, карты изолиний равных напоров водоносных горизонтов.

Кроме того, были использованы буровые журналы скважин, пробуренных при инженерно-геологических изысканиях на территории города из фондов ГУП “Мосгоргеотрест”, данные наблюдений за химическим составом и уровнем подземных вод из фондов ОАО “Московский научно-производственный центр геолого-экологических исследований и использования недр Геоцентр – Москва”.

При создании карты впервые были проанализированы гидродинамические, гидрогеохимические и геолого-структурные признаки гидрогеологических окон; построены карты мощности слабопроницаемых отложений – келловей-оксфордских (“юрских”) и каменноугольных глин; разработана концепция изменения проницаемости юрских глин в зависимости от геолого-структурных особенностей территории; выполнены фильтрационные расчеты и при помощи комплекса методов выявлены гидрогеологические окна разной степени опасности.

Карта создана с использованием компьютерных технологий и содержит несколько информационных слоев. Ее можно обновлять при поступлении новых данных о геологическом строении и гидрогеологических условиях.

МЕТОДИКА КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОКОН

Методика картирования гидрогеологических окон включает выделение гидрогеологических окон на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий, расчетов времени вертикальной фильтрации загрязненных вод из надюрского водоносного горизонта в подольско-мячковский через разделяющую их толщу; выделение потенциальных гидрогеологических окон по структурно-тектоническим признакам.

Выделение гидрогеологических окон на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий

Геологическое строение территории города характеризуется крайней неоднородностью, обусловленной наличием сети погребенных эрозионных врезов в коренных породах каменноугольного и юрского возрастов [5, 6, 9, 10, 12]. В зависимости от наличия и глубины древних эрозионных врезов меняется геологическое строение толщи, перекрывающей подольско-мячковский горизонт. При создании “Карты районирования

по условиям взаимосвязи водоносных горизонтов с элементами защищенности подольско-мячковского водоносного горизонта” на территории города было выделено 17 типов строения перекрывающей этот горизонт толщи [12].

Особенность гидрогеологических условий территории города – четкая приуроченность водоносных горизонтов и разделяющих их слабопроницаемых отложений в каменноугольной толще к отложениям определенного геологического возраста. Резкая смена геологического строения перекрывающей толщи на участках эрозионных врезов вызывает изменение гидрогеологического разреза, которое выражается в уменьшении суммарной мощности водоносной толщи, количества водоносных горизонтов и разделяющих их слоев, мощности слабопроницаемых отложений, разности напоров подземных вод в смежных горизонтах.

Чем больше мощность перекрывающей толщи и степень “сохранности” в ней от эрозии остальных каменноугольных водоносных горизонтов и слабопроницаемых келловей-оксфордских и каменноугольных глин, тем более затруднена гидравлическая связь загрязненного надюрского водоносного горизонта с подольско-мячковским и менее вероятность загрязнения последнего.

В пределах древних эрозионных врезов сокращается суммарная мощность разделяющих водоносные горизонты слабопроницаемых отложений вплоть до их полного отсутствия и увеличивается их проницаемость. На участках отсутствия разделяющих подольско-мячковский и надюрский горизонты отложений формируется единая водоносная толща, в которой за счет механизмов перемешивания и аккумуляции достаточно быстро происходит загрязнение подольско-мячковского горизонта в этом месте и на прилегающей территории за счет латерального переноса загрязняющих веществ с потоком подземных вод. Участки с прямой гидравлической связью – реальные и наиболее опасные для загрязнения подольско-мячковского горизонта гидрогеологические окна I порядка.

Гидрогеологические окна I порядка на территории Москвы были впервые выявлены и показаны на “Карте районирования по условиям взаимосвязи водоносных горизонтов с элементами защищенности подольско-мячковского горизонта”, созданной в ИГЭ РАН в 2009 г., и затем – на обновленной версии карты в 2012 г. [12]. В рамках проекта была разработана специальная компьютерная технология, основанная на применении

Критерии выделения гидрогеологических окон разного порядка

№	Порядок гидрогеологического окна	Время вертикальной фильтрации	Время вертикальной фильтрации соответствует
1	I	< 400 сут	Времени выживания патогенных микроорганизмов в подземных водах
2	II	<1000 сут	Периоду полураспада нефтепродуктов
3	III	3–15 лет	Времени разложения более 60 органических соединений и периоду полураспада трития
4	IV	15–25 лет	Расчетному сроку эксплуатации водозаборов
5	V	25–50 лет	Фактическому сроку эксплуатации водозаборов
6	VI	50–100 лет	Характерному времени миграции с учетом сорбционной задержки тяжелых металлов, иона аммония, радионуклидов – цезия и стронция и нитратов с учетом денитрификации

геоинформационных операций к созданным тематическим слоям геологического районирования дочетвертичных и каменноугольных отложений [8], которая позволила выделить этот тип строения геологического разреза с отсутствием разделяющей надъюрский и подольско-мячковский горизонты толщи.

В южных административных округах гидрогеологические окна I порядка обнаружены в Нагатинском затоне в долине р. Москвы, в районе Даниловской и Нагатинской набережных, парка Нагатинской поймы, в Коломенском – на проспекте Андропова, Коломенской набережной, Судостроительной улице; в Печатниках, Марьино, Люблино, Некрасовке и т.д.

Выделение гидрогеологических окон на основе фильтрационных расчетов

Для оценки и сравнения опасности загрязнения подольско-мячковского водоносного горизонта на участках с разным геологическим строением, разной мощностью и проницаемостью слабопроницаемых отложений рассчитывалось время вертикальной фильтрации загрязненных вод из надъюрского в подольско-мячковский водоносный горизонт через разделяющую их толщу [1]. Чем меньше время фильтрации, тем более вероятно загрязнение подольско-мячковского водоносного горизонта на этом участке, и тем опаснее гидрогеологическое окно. В расчетах принималось, что на участке гидрогеологического окна и за его пределами загрязняющие вещества поступают в подольско-мячковский горизонт из надъюрского в результате конвективного вертикального переноса консервативных загрязняющих веществ – перетекания через слабопроницаемые отложения. Время фильтрации для гидрогеологических окон I порядка не рассчитывается и принимается, что

оно не превышает 400 сут или года, что соответствует времени выживания патогенных микроорганизмов в подземных водах.

Расчет времени вертикальной фильтрации для схемы с одним слабопроницаемым разделяющим пластом выполнялся по следующей формуле:

$$t = \frac{m_0^2 \times n_0}{k_0 \times (H_1 - H_2)},$$

где m_0 , k_0 , n_0 – мощность, коэффициент фильтрации и активная пористость слабопроницаемых отложений; напор подземных вод водоносного горизонта: H_1 – “надъюрского”; H_2 – каменноугольного.

Для многослойной толщи, содержащей несколько водоносных горизонтов и слабопроницаемых разделяющих слоев, последовательно рассчитывалось время фильтрации через каждый слой, и результаты суммировались.

Для гидрогеологических окон I порядка по методике, рекомендованной И.С. Пашковским, рассчитывался размер водоохранной зоны как расстояние от границы окна, на которое должен быть удален источник, чтобы время латерального переноса нефтепродуктов в надъюрском горизонте превышало время их полураспада или 1000 сут [11]. Нефтепродукты выбраны как наиболее часто встречающиеся загрязняющие вещества в подземных водах в городских условиях. Расчеты показали, что размер водоохранной зоны гидрогеологических окон I порядка, в пределах которой необходимо соблюдать особый режим хозяйственной деятельности, может составлять 300–500 м.

По результатам расчета времени вертикальной фильтрации загрязненных вод из надъюрского в

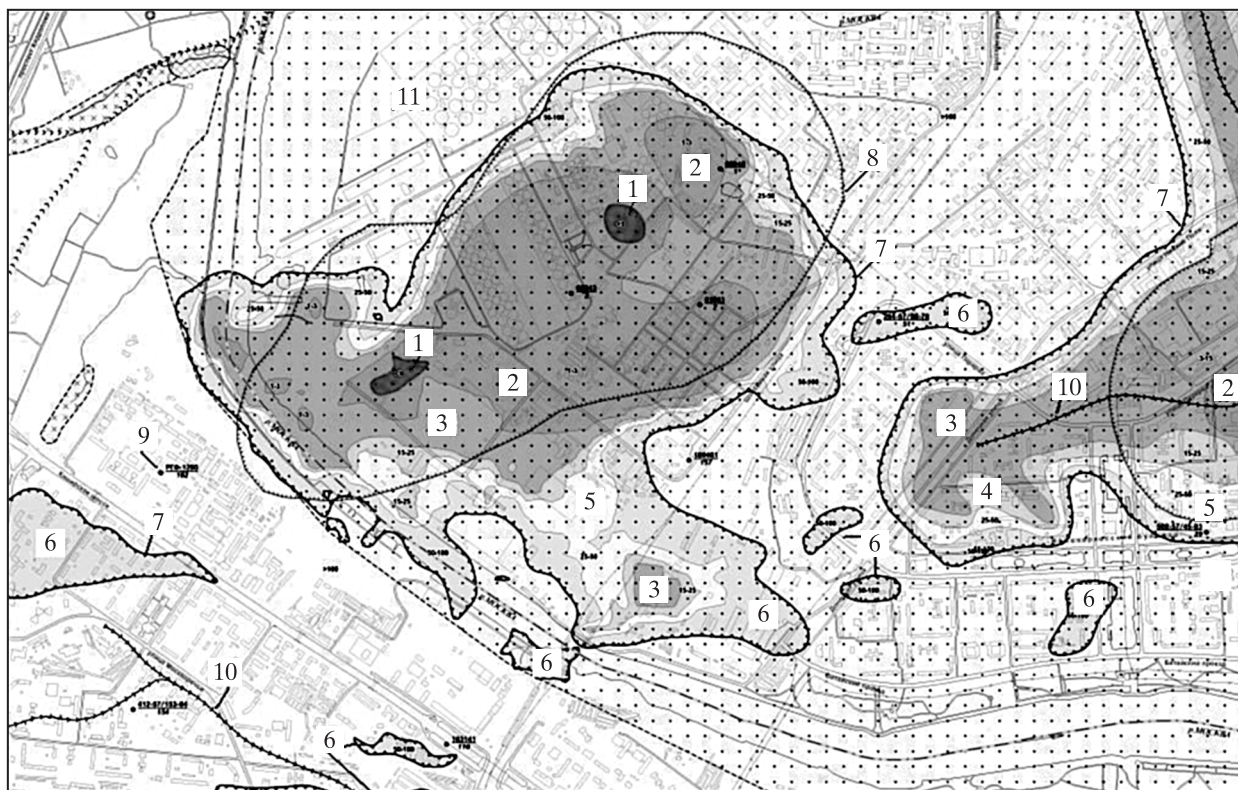


Рис. 1. Результаты картирования гидрогеологических окон в Марьино. 1–6 – гидрогеологические окна I–VI порядков; 7 – границы гидрогеологических окон; 8 – граница водоохранной зоны надъюрского горизонта; 9 – опорная скважина; 10 – тальвеги погребенных доледниковых эрозионных врезов; 11 – участки отсутствия гидрогеологических окон.

подольско-мячковский водоносный горизонт на карте выделены: гидрогеологические окна разных порядков (таблица).

Принималось, что гидрогеологические окна отсутствуют на тех участках, где время вертикальной фильтрации загрязненных вод из надъюрского в подольско-мячковский водоносный горизонт превышает 100 лет, так как за этот период успевают произойти биохимическое разложение органических загрязнителей, денитрификация, инактивация радионуклидов, сорбция тяжелых металлов слабопроницаемыми отложениями в верхних частях разреза.

Границы гидрогеологических окон II–VI порядков проводились по изолиниям времени вертикальной фильтрации: 3 года, 15, 25, 50 и 100 лет, соответственно (рис. 1).

На оригинальной карте гидрогеологические окна разного порядка показаны цветовой гаммой с соблюдением так называемого принципа “светофора”. Наиболее опасные – в алой цветовой гамме, переходящей через желто-оранжевый цвет к наименее опасным, окрашенным в желто-зеленую гамму. Участки отсутствия гидрогеологических окон окрашены в зеленый цвет.

Выделение потенциальных гидрогеологических окон по тектоническим признакам

Потенциальные гидрогеологические окна – участки предполагаемой повышенной проницаемости горных пород, в том числе слабопроницаемых юрских и каменноугольных глин, которые могут быть выделены по тектоническим признакам как участки повышенной трещиноватости горных пород. На этих участках за счет повышения проницаемости слабопроницаемых отложений возможно быстрое поступление загрязненных вод из надъюрского водоносного горизонта в подольско-мячковский. Это повышает опасность гидрогеологического окна вплоть до перехода в другую более опасную категорию по сравнению с соседними участками. Потенциальные гидрогеологические окна как участки повышенной проницаемости горных пород пространственно и генетически связаны с линеаментами, линеamentными зонами различного возраста и геодинамически активными зонами. При их выделении использовались “Структурно-геодинамическая карта, М. 1:25 000”, созданная в рамках проекта по крупномасштабному геологическому картированию.

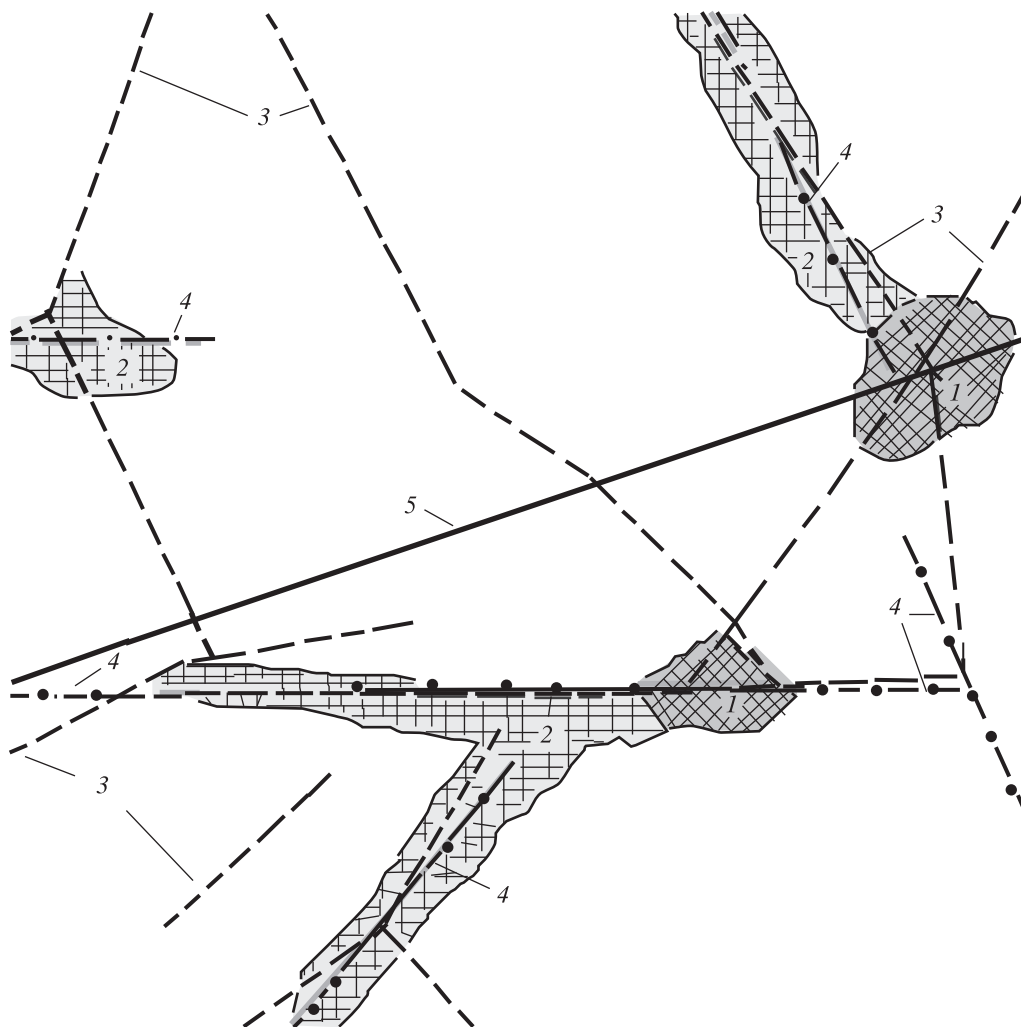
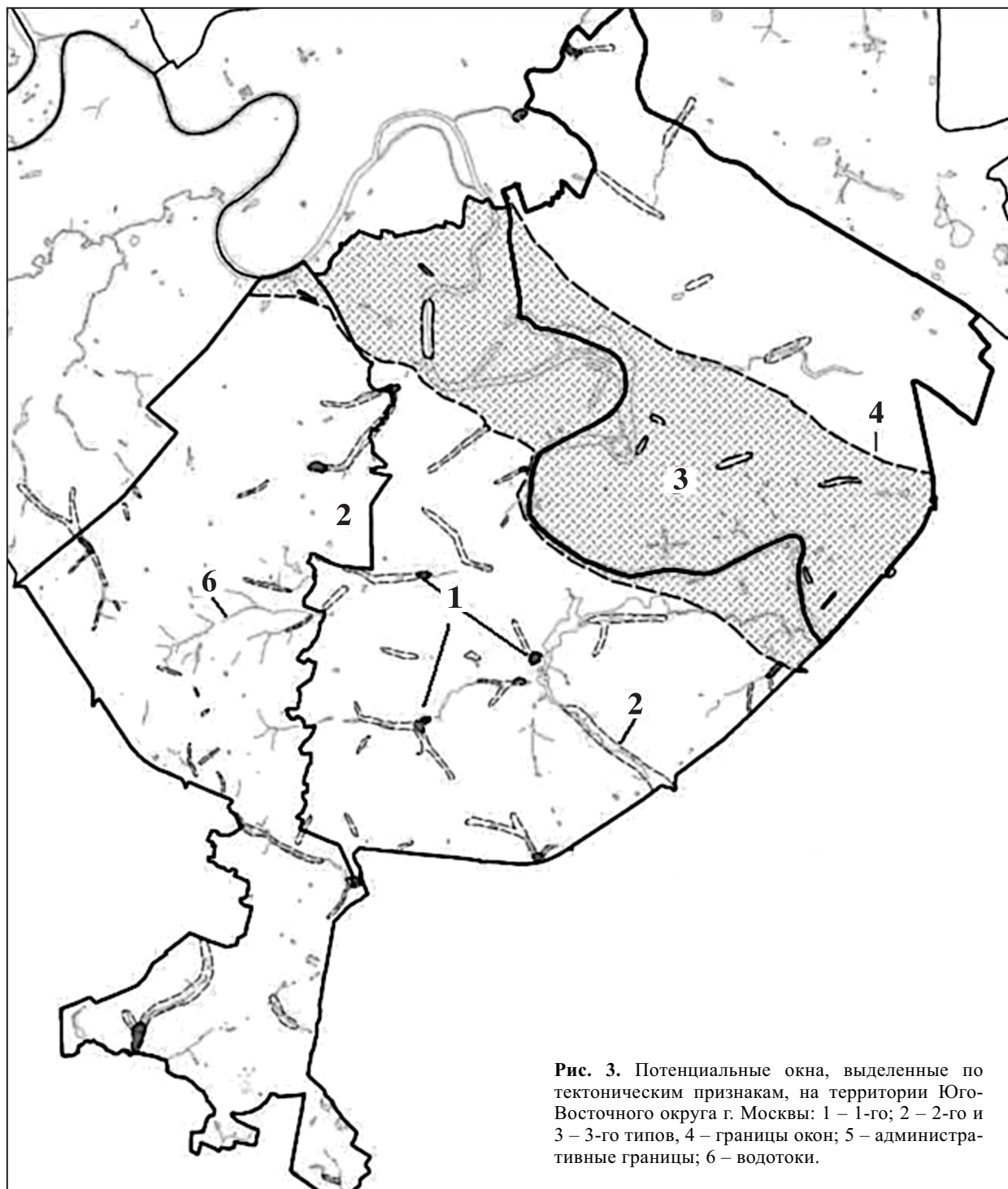


Рис. 2. Фрагмент схемы разновозрастных линеаментов и типов потенциальных гидрогеологических окон, выделенных по тектоническим признакам. Окна: 1 – 1-го, 2 – 2-го и 3–5 – 3-го типов. Линеаменты: 3 – современные, 4 – миоцен-ранннеоплейстоценовые, 5 – послекарбон-досреднеюрские.

ванию территории Москвы [2, 10], а также результаты региональных структурно-геодинамических исследований и анализа линеаментов, выделенных по трем разновозрастным поверхностям [3]. Первая поверхность — это рельеф со снятыми техногенными отложениями, т.е. максимально возможно приближенный к природному. Линеаменты, выраженные в этом рельефе, наиболее молодые и отражают современную трещиноватость, поэтому им уделено наибольшее внимание и при картировании потенциальных гидрогеологических окон. Вторая – поверхность дочетвертичных отложений, построенная по данным более чем 85 тыс. скважин, представляет собой погребенный на глубину от нескольких до десятков метров рельеф со снятыми, преимущественно ледниковыми (моренными и водно-ледниковыми) и речными (аллювиальными) отложениями

четвертичного (неоплейстоценового) возраста. Линеаменты, выделенные по этой поверхности, имеют миоцен-ранннеоплейстоценовый возраст, поскольку так датирована и сама поверхность [3]. Третья анализируемая поверхность – это кровля каменноугольных отложений. Поскольку она имеет послекарбон-досреднеюрский возраст и более точных данных о времени ее образования пока нет, выделенные по ней линеаменты также датируются этим временным периодом.

Потенциальные гидрогеологические окна, выделенные по тектоническим признакам, разделены на три типа по предполагаемому увеличению проницаемости горных пород в них. Участки с наибольшей проницаемостью горных пород и скоростью фильтрации (1-й тип) – это узлы пересечения линеаментов и линеаментных зон различной протяженности и возраста (см. рис. 2).



Окна 2-го типа, с более низкой проницаемостью отложений, выделены по совпадению, наложенности нескольких разновозрастных линейных элементов друг на друга (рис. 2). Таким образом определяются долгоживущие, устойчивые зоны повышенной трещиноватости и проницаемости геологической среды, в том числе и келловей-оксфордских слабопроницаемых глин.

К потенциальным гидрогеологическим окнам 3-го типа относятся территории, расположенные в геодинамически активных зонах – Москворецкой и Лихоборской, выделенных по результатам регионального структурно-геодинамического анализа новейших структур (рис. 3) [3]. Предполагается, что проницаемость и трещиноватость геологической среды в таких зонах ниже, чем в

двух описанных выше типах потенциальных гидрогеологических окон, но выше, чем на остальной территории.

Результаты картирования потенциальных гидрогеологических окон показали, что окна 1-го типа приурочены к верховьям и средним прямолинейным участкам долин рек, к местам пересечения окон 2-го типа или к местам пересечения этих окон с отдельными линеаментами (см. рис. 3). Окна 2-го типа связаны с отдельными прямолинейными участками долин современных рек или их притоков, которые существовали в дочетвертичное или даже в доюрское время. Окна 3-го типа приурочены к Московорецкой геодинамически активной зоне.

Выделенные по тектоническим признакам потенциальные гидрогеологические окна на отдельных участках совпадают с гидрогеологическими окнами I порядка, что в дальнейшем может быть использовано как поисковый признак последних на территориях с малоизученным геологическим строением.

ТЕХНОЛОГИЯ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОКОН

Для расчета времени вертикальной фильтрации из вышележащих водоносных горизонтов в подольско-мячковский использованы следующие данные: распределение напоров подземных вод надюрского, подольско-мячковского и других водоносных горизонтов в толще, перекрывающей подольско-мячковский горизонт; распространение, мощность и распределение коэффициента фильтрации слабопроницаемых глинистых отложений, разделяющих водоносные горизонты.

Изолинейные карты напоров подземных вод проинтерполированы в цифровую модель поверхности на квадратной сетке с шагом 10 м (размер ячейки сетки – 1 кв. мм при масштабе карты 1:10000), затем построены карты разности напоров подземных вод, которые использовались в расчетах.

Для определения зон распространения и вычисления мощности слабопроницаемых глинистых толщ созданы цифровые модели поверхностей кровли и подошвы этих толщ, и для их уточнения использованы оригинальные технологии 3-мерного моделирования геологического строения. Для территории Центрального, Юго-Восточного и Восточного округов составлено более 100 геологических разрезов толщи, перекрывающей подольско-мячковский водоносный горизонт, по

которым рассчитывалась мощность келловей-оксфордских и верхнекаменноугольных глин для центра каждого расчетного блока. Карта изменения мощности келловей-оксфордских глин в масштабе 1: 10000 построена для территории города впервые. Высокая степень достоверности вычисления мощности глин контролировалась большим количеством пробуренных скважин.

Анализ карты показывает, что в пределах южных округов мощность келловей-оксфордских глин меняется от нескольких метров на участках древних эрозионных врезов до максимальных значений 47–48 м при наиболее часто встречаемых значениях 10–12 м. Увеличение мощности юрских глин связано с процессами осадконакопления в морском бассейне в условиях тектонического прогибания в юрское время. Пример – увеличение мощности келловей-оксфордских глин на участке Теплостанско-Выхинского прогиба [13].

Для разработки цифровых моделей коэффициентов фильтрации келловей-оксфордских и верхнекаменноугольных глин был выбран подход зонирования значений в пределах диапазонов, согласующихся с параметрами постоянно действующей гидрогеологической модели Москвы (ПДМ) [4]. В основе выделения зон с разной проницаемостью келловей-оксфордских глин лежит предположение, что на ее изменение могут влиять как условия осадконакопления, так и эрозионные процессы (древние и современные). Установлено, что максимальные значения мощности келловей-оксфордских глин (более 30 м) характерны для Теплостанско-Выхинского прогиба и Северной впадины [3]. Это позволило предположить, что глины, сформированные в условиях прогибания территории и не затронутые в последующем цикле поднятия территории глубокой эрозионной деятельностью, характеризуются большей мощностью, более высокой плотностью и низкой проницаемостью, чем глины на участках размывов. Увеличение проницаемости келловей-оксфордских глин на участках, осложненных древней эрозионной деятельностью, возможно за счет формирования систем трещин в бортах врезов при их заложении [5]. В пределах геологических структур, сформированных процессами эрозии, – древних погребенных доледниковых долин и современных долин основных водотоков рек Москва, Яуза, Сетунь, задавались самые высокие значения коэффициента фильтрации келловей-оксфордских глин, равные 10^{-3} – 10^{-4} м/сут, в зависимости от мощности этих отложений. На остальной территории коэффициент фильтрации келловей-оксфордских отложений принимал-

ся равным 10^{-5} или 10^{-6} м/сут в зависимости от мощности этих отложений. Значения коэффициентов фильтрации верхнекаменноугольных глин принимались на порядок выше значений юрских глин, но не выше 10^{-3} м/сут.

Полученная в результате фильтрационных расчетов цифровая модель времени вертикальной фильтрации загрязненных подземных вод из надъюрского водоносного горизонта в подольско-мячковский на сетке с шагом 10 м использована для составления окончательного варианта зональной карты времени вертикальной фильтрации.

При проведении картографических работ использованы оригинальные программные средства, разработанные в ИГЭ РАН, для составления и оформления геологических карт, разрезов, 3-мерного моделирования (в программной среде MapInfo Professional), обработки цифровых моделей в растровом формате (в программной среде ILWIS www.53north.org).

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УЧАСТКАХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОКОН

При построении карты выполнен анализ гидрогеологических условий на участках гидрогеологических окон для установления закономерных изменений гидродинамической и гидрогеохимической ситуации, которые в дальнейшем могут быть использованы как косвенные признаки существования гидрогеологического окна на малоизученной территории. В первую очередь рассматривались наиболее опасные гидрогеологические окна I и II порядков.

Гидрогеологические окна с гидродинамических позиций являются фильтрационными окнами, т.е. участками, которые отличаются более высокой проницаемостью или меньшей мощностью вплоть до полного отсутствия разделяющих водоносные горизонты слабопроницаемых отложений. В гидрогеологических окнах интенсивность перетекания через слабопроницаемые отложения увеличивается по сравнению с соседними участками, что отражается в деформации уровенной поверхности подземных вод в их пределах. Так, в водоносном горизонте, из которого происходит перетекание (надъюрском для территории г. Москвы), на участке окна может сформироваться депрессия уровенной поверхности. В горизонте, в который в результате перетекания поступают подземные воды (первом от поверхности

водоносном горизонте в каменноугольных отложениях), на участке окна может сформироваться некоторое поднятие уровенной поверхности или так называемый купол растекания. Гидродинамическим признаком гидрогеологического окна может быть также уменьшение разности напоров подземных вод надъюрского и первого от поверхности водоносного горизонта в каменноугольных отложениях, в том числе подольско-мячковского. При проведении такого анализа необходимо дифференцировать деформации уровенной поверхности в естественных условиях от тех, которые формируются в результате водоотлива из метро, работы водозаборов подземных вод, утечек из коммуникаций и многого другого.

Выполненный анализ позволил установить, что при мощности келловей-оксфордских глин более 30–40 м локальные деформации уровенной поверхности подольско-мячковского горизонта отсутствуют, что свидетельствует о его хорошей изолированности за счет низкой проницаемости глин, и полностью соответствует принятой в фильтрационных расчетах концепции изменения их коэффициента фильтрации. Такие условия характерны для высоких частей Теплостанской возвышенности и ее отрогов.

На участках небольшой мощности юрских отложений (10 м и менее) и в пределах потенциальных гидрогеологических окон разного типа, особенно I-го, выделяемых в местах пересечения линейментов, формируются купола растекания в подольско-мячковском водоносном горизонте. Купола растекания в этом горизонте возникают также на тех участках, где надъюрский и первый от поверхности ратмировский водоносные горизонты образуют единый горизонт, а подольско-мячковский горизонт отделен от них слабопроницаемыми воскресенскими глинами. Самый большой (региональный) купол растекания в подольско-мячковском горизонте, осложненный мелкими куполами в местах гидрогеологических окон I порядка, выявлен на участке потенциальных гидрогеологических окон 3-го типа в ЮВАО (рис. 4).

На всех участках гидрогеологических окон I порядка и вблизи них разность напоров подземных вод надъюрского и подольско-мячковского горизонтов минимальная, что доказывает их тесную гидравлическую связь. Выявлены также места, где снижение разности напоров говорит о наличии не выявленных в настоящее время гидрогеологических окон. Региональная зона минимальной разности напоров надъюрского и подольско-мячковского горизонтов приурочена к потенциальным гидрогеологическим окнам

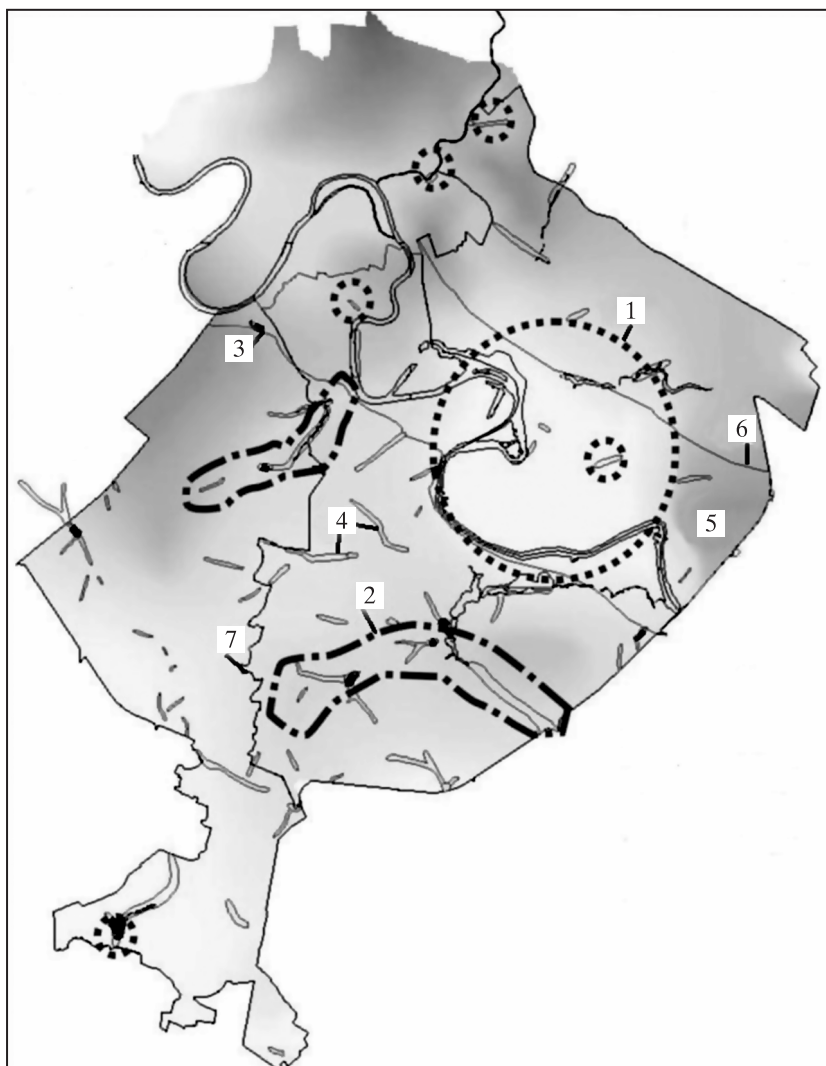


Рис. 4. Гидрогеологические окна, выделенные по деформации уровневой поверхности подольско-мячковского водоносного горизонта: 1 – купола растекания; 2 – депрессии; потенциальные гидрогеологические окна: 3 – 1-го; 4 – 2-го и 5 – 3-го типов; границы: 6 – потенциальных гидрогеологических окон; 7 – административные.

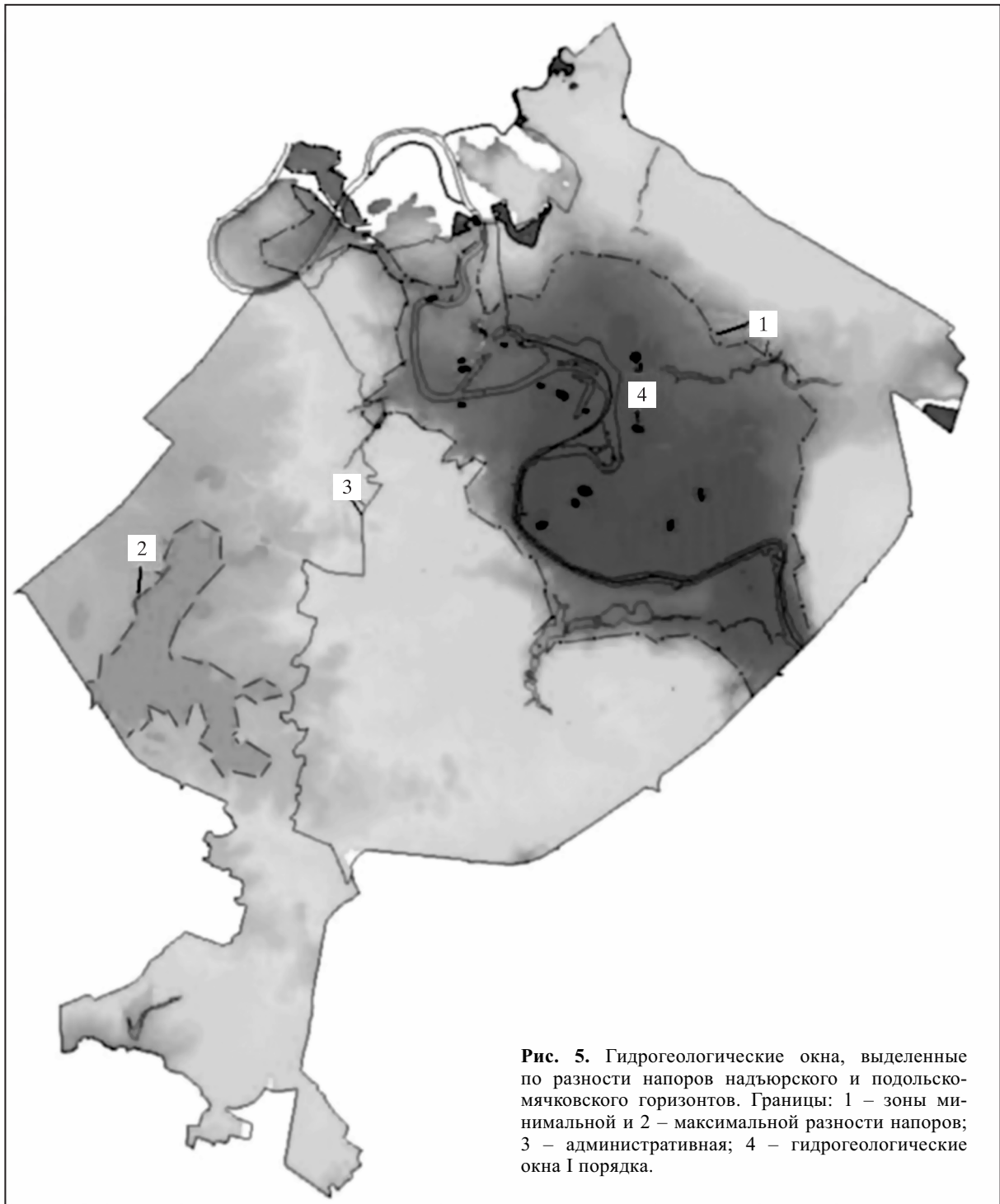
3-го типа в ЮВАО, которые выделяются в пределах Московорецкой геодинамически активной зоны (рис. 5).

Исследование влияния гидрогеологических окон на загрязнение подземных вод подольско-мячковского водоносного горизонта заключалось в анализе данных по химическому составу надъяюрского и подольско-мячковского водоносных горизонтов по материалам ОАО “Геоцентр-Москва”, фондовым данным ИГЭ РАН и литературным источникам [9]; выборе и построении схем распределения в подземных водах обоих горизонтов компонентов – индикаторов загрязнения.

Подземные воды характеризовались минерализацией – 0.18–6.03 г/л, концентрациями хлорид-

ионов – 25.1–3450 мг/л, сульфат-ионов – 6.7–171.0 мг/л, нитрат-иона – 0.1–27.5 мг/л, нитрит-иона – 0.02–2.1 мг/л, иона аммония – 0.52–236.0 мг/л, нефтепродуктов – 0.17–53.0 мг/л, фенолов – 0.001–0.260 мг/л, ПАВ – 0.025–0.17 мг/л, перманганатной окисляемостью – 1.8–227 мгО₂/л.

Индикаторы загрязнения подземных вод – компоненты преимущественно техногенного происхождения: ион аммония, нитраты, нефтепродукты, фенолы, ПАВ, а также хлорид-ион. Эти и другие компоненты использованы для получения полной картины влияния перетекания загрязненных вод из надъяюрского водоносного горизонта на загрязнение подольско-мячковского и выяснения возможности использования изменения химического состава подземных вод на участках



гидрогеологических окон в качестве их гидрогеохимического признака.

Результаты исследований химического состава подземных вод подольско-мячковского водоносного горизонта показали, что химический состав в целом незначительно нарушен техногенными процессами. В результате природных взаимо-

действий в системе “вода–порода” формируются гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные воды природного генезиса. Хлоридно-гидрокарбонатные подземные воды природно-техногенного генезиса распространены меньше и приурочены к выделенным потенциальным гидрогеологическим окнам 3-го типа, расположенным в пределах Москворецкой геодинамически

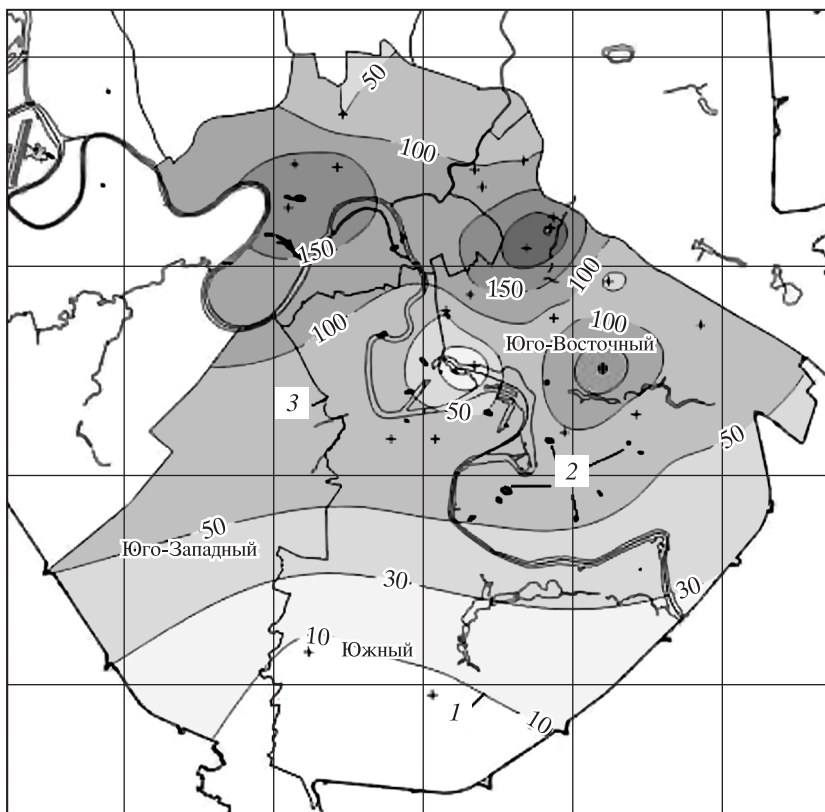


Рис. 6. Схематическая карта распределения хлорид-иона в подземных водах подольско-мячковского водоносного горизонта, мг/л: 1 – изолинии концентраций, 2 – гидрогеологические окна I порядка, 3 – административные границы.

активной зоны. Концентрации компонентов техногенного генезиса существенно меньше, чем в надъяюрском водоносном горизонте.

Химический состав подземных вод подольско-мячковского водоносного горизонта характеризуется следующими показателями: рН 6.7–7.45, минерализация – 495–1295 мг/л, концентрация хлорид-иона – 4–262 мг/л, сульфат-иона – 21.0–189.0 мг/л, нитрат-иона – 1–36 мг/л, нитрит-иона – 0.01–0.5 мг/л, иона аммония – 0.05–4 мг/л, нефтепродуктов – 0.005–0.184 мг/л, фенолов – 0.0005–0.02 мг/л, ПАВ – 0.025–0.135 мг/л, перманганатная окисляемость – 0.88–8.16 мгО₂/л.

Результаты анализа распределения концентраций элементов-индикаторов в подземных водах подольско-мячковского водоносного горизонта показали, что повышенные концентрации хлорид-иона, нитрат-иона, нефтепродуктов, иона аммония характерны именно для участков распространения гидрогеологических окон в долинах рек Яузы и Москвы.

Наиболее высокие концентрации (мг/л) компонентов-индикаторов загрязнения выявлены на участках гидрогеологических окон I порядка:

хлорид-иона до 183–262 (рис. 6); нитрат-иона до 28.4–36.0; нефтепродуктов до 0.184; фенолов до 0.01; ПАВ до 0.135; аммония до 2.0–4.48.

Таким образом, гидродинамические и гидрогеохимические критерии, несмотря на объективные ограничения применения и погрешности, могут быть использованы для выделения гидрогеологических окон в зонах повышенной проницаемости и пониженной мощности слабопроницаемых юрских глин. Повышение точности метода может быть достигнуто путем организации гидрогеологического мониторинга в зонах как выявленных, так и потенциальных гидрогеологических окон, по которым в данное время недостаточно информации.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УЧАСТКАХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОКОН

Подольско-мячковский водоносный горизонт – резервный источник питьевого водоснабжения г. Москвы. Система мер по сохранению питье-

вого качества подземных вод горизонта должна минимизировать влияние на них хозяйственной деятельности и включать выявление участков, наиболее уязвимых для проникновения в него загрязнения, инвентаризацию потенциальных источников загрязнения, оценку загрязнения подземных вод и разработку специального регламента хозяйственной деятельности на таких участках.

Наиболее важной представляется разработка экологических ограничений по использованию участков гидрогеологических окон и в первую очередь наиболее опасных и незащищенных гидрогеологических окон I и II порядков, на которых время проникновения загрязнения в подольско-мячковский горизонт составляет менее 400 и 1000 сут, соответственно. Подземные воды на участках гидрогеологических окон I порядка наиболее уязвимы к любому виду загрязнения, в том числе патогенными микроорганизмами, а на участках II порядка – ко всем видам загрязнения, за исключением бактериального. Для данных участков следует рекомендовать вывод существующих экологически вредных промышленных предприятий или реконструкции подземных коммуникаций, очистных сооружений и т.д., ликвидацию свалок и навалов техногенных грунтов, реконструкцию канализационных сетей жилого сектора, сокращение выбросов от автотранспорта за счет внедрения специальных видов топлива и электротранспорта, реконструкцию дорожной ливневой канализации, организацию мониторинга подземных вод с обязательным размещением наблюдательных скважин у экологически опасных объектов, запрет строительства новых промышленных объектов (за исключением наиболее важных жизнеобеспечивающих сооружений), автозаправочных станций, моек и т.д.

Возможность размещения потенциальных источников загрязнения подземных вод на участках гидрогеологических окон I и II порядков или в радиусе 500 м от них необходимо обосновывать результатами прогноза загрязнения подземных вод подольско-мячковского горизонта, выполненного методами численного моделирования фильтрации и миграции подземных вод на весь срок работы объекта, требовать организацию эксплуатационного мониторинга загрязнения подземных вод за счет недропользователя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

“Карта границ гидрогеологических окон” для территории г. Москвы в масштабе 1 : 10000 впервые создается в ИГЭ РАН по оригинальной

методике, сочетающей крупномасштабное картирование геологического строения, гидрогеологических и структурно-тектонических условий, фильтрационные расчеты, анализ режимной информации об уровнях и химическом составе подземных вод. Карта создается на основе большого количества информации, полученной из официальных источников, с применением современных компьютерных технологий. Использованный комплексный подход позволяет выявить, картировать и сравнить гидрогеологические окна по времени проникновения в стратегический для питьевого водоснабжения подольско-мячковский горизонт наиболее часто встречаемых загрязняющих веществ.

Впервые для территории города были получены карты мощности келловей-оксфордских и верхнекаменноугольных глин в масштабе 1:10000; выявлена связь изменения мощности со структурно-тектоническими особенностями территории; разработана концепция изменения их проницаемости в зависимости от мощности и приуроченности к линеаментам и геодинамически активным зонам, которая была подтверждена гидродинамическим анализом; выявлены гидродинамические и гидрогеохимические признаки гидрогеологических окон.

Карта имеет широкий спектр применения и может быть использована в первую очередь для разработки специального регламента хозяйственной деятельности на участках гидрогеологических окон, оценки защищенности подземных вод подольско-мячковского горизонта от определенного вида загрязнения, сравнительной оценки опасности загрязнения подземных вод на разных участках, оптимизации сети мониторинга подземных вод, разработки дополнительных требований к инженерно-геологическим изысканиям и оценке влияния на подземные воды при строительстве новых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гольдберг В.М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеониздат, 1987. 247 с.
2. *Григорьева С.В., Макаров В.И.* Крупномасштабное картографирование новейшей тектоники платформенных территорий (на примере Москвы) // Геоэкология. 2010. № 2. С. 99–114.
3. *Дорожко А.Л.* Неотектоника, геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение // Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЭ РАН, 2014. 26 с.

4. Зеегофер Ю.О., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. Постоянно действующие модели гидролитосферы территорий городских агломераций (на примере московской агломерации). М.: Наука, 1990. 198 с.
5. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 151 с.
6. Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н., Кожевникова И.А., Козлякова И.В. Карта дочетвертичных отложений как основа крупномасштабного геологического картирования территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 5. С. 411–419.
7. Макаров В.И., Бойков В.В., Булаева Е.А. Опыт использования методов спутниковой геодезии (GPS) для изучения современных движений и деформаций земной коры платформенных территорий на примере Приокского района Русской плиты // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. Матер. XVI Междунар. конф. Воронеж, 20–25 сент. 2010 г. Воронеж: ВГУ, 2010. С. 33–39.
8. Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории Москвы // Геоэкология. 2011. № 3. С. 198–214.
9. Москва: геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: АО “Московские учебники и Картолитография”, 1997. 400 с.
10. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 3. С. 195–197.
11. Пашковский И.С. Принципы оценки защищенности подземных вод от загрязнения // Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики // Сб. докл. СПб.: СПбУ. С. 122–132.
12. Позднякова И.А., Кожевникова И.А., Костикова И.А., Томс Л.С. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы // Геоэкология. 2012. № 6. С. 527–539.
13. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 2003. 299 с.

IDENTIFICATION OF HYDROGEOLOGICAL WINDOWS BASED ON THE LARGE-SCALE MAPPING OF GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN MOSCOW

I. A. Pozdniakova, I. V. Galitskaya, O. K. Mironov, I. A. Kostikova, A. L. Dorozko, G. I. Batrak, L. A. Matveeva, K. I. Fesel

Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: irina_pozd58@mail.ru

The original technique of mapping hydrogeological windows is based on the study of geological structure of the massif overlaying the Podol'sko-Myachkovskii aquifer, changes in hydrodynamic and hydrogeochemical conditions in the zone of “windows”; as well as time calculation of vertical contaminants transfer from the Meso-Cenozoic to Podol'sko-Myachkovskii Carboniferous aquifer. Not only the spatial and vertical distribution of low permeable clay in Moscow area, but also variation in its thickness and permeability are taken into account. The results obtained can be used in groundwater protection upon regulating economic activities in the areas with hydrogeological windows.

Keywords: hydrogeological windows, contamination, calculations of vertical filtration, information technology, lineaments, geodynamically active zones, large-scale mapping.