

ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ на водонапорную систему южного склона Московского артезианского бассейна



В. А. Манукьян,
ведущий гидрогеолог,
канд. геол.-минерал. наук

ЗАО «Спецгеоэкология»
7821844@mail.ru



О. В. Пинигин,
главный геолог

ЗАО «Спецгеоэкология»
7821844@mail.ru

С целью создания вероятностной картины влияния колебаний напряженности земной коры на режим циркуляции подземных вод южной части Московского артезианского бассейна авторами статьи были привлечены и тщательно проанализированы группы разнородных природных и технологических параметров: пространственное и временное положение радона и гелия в подземных водах, колебания мутности воды эксплуатационных скважин, взаимное положение трещин на открытых стволах эксплуатационных скважин, деформация обсадных колонн, нестандартное поведение пьезометрических уровней водоносных горизонтов, разрывы чугунных труб водоводов и т. д. Для пространственной привязки перечисленных выше параметров служила схема новейших тектонических разрывов, составленная на основе морфоструктурного анализа.

Основные черты геолого-гидрогеологических условий района исследований

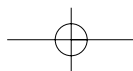
Район исследований приурочен к южному крылу Московской синеклизы – крупнейшей отрицательной структуры Восточно-Европейской платформы. Фундамент коллизионной природы сложен породами различного генезиса архейского возраста и залегает на глубинах 1,3–1,5 км. Осадочный чехол представлен протерозоем и фанерозоем. В составе последнего выделяются палеозой, мезозой и кайнозой, которым соответствуют одноименные структурные этажи. В региональном плане структура осадочного чехла в общем наследует положение кровли фундамента, имеющей тенденцию к пологому погружению к центру синеклизы.

Согласно тектонической схеме масштаба 1:200 000 [1] район исследований приурочен к западной границе Русского поднятия и Северной впадины и в неотектоническом плане относится к Мещерской ячее северозападного замыкания новейшего Окско-Донского прогиба. Генезис последнего [2, 3] тесно связан с коллизионными событиями на южной альпийской границе платформы. С севера и запада район исследований граничит с Клиско-Дмитровской грядой – одной из крупнейших положительных структур Смоленско-Московской возвышен-

ности. Границы структур тектонические: на севере – это Клязьминский разрыв, а на западе – Рязанский. Между Мещерской впадиной и Клиско-Дмитровской грядой выделяется переходная (шовная) зона, характеризующаяся специфическими структурно-геологическими условиями. В переходной зоне сосредоточено большинство эксплуатационных водозаборных и наблюдательных скважин рассматриваемого района.

В гидрогеологическом отношении район расположен на южном склоне Московского артезианского бассейна и приурочен к переходной зоне между Клиско-Дмитровским и Мещерским гидрогеологическими районами. В районе эксплуатируются водоносные горизонты не древнее нижнего карбона.

Разрез представлен (снизу вверх): известняками протвинской свиты серпуховского яруса; карбонатными и терригенными отложениями московского, касимовского и гжельского ярусов общей мощностью до 247 м. При этом отложения верейской и кривякинской свит и шелковской подсвиты являются основными стратиграфическими маркерами и региональными водоупорными толщами. Мезозой представлен глинами и песками юры и мела общей мощностью до 60 м. Четвертичный комплекс венчает разрез и представлен осадочными отложе-



ниями главным образом ледникового происхождения неоплейстоцена и аллювиально-озерным голоценом общей мощностью до 45 м.

Выявление и анализ тектонических разрывов

Связь гидрогеологии с разрывной тектоникой достаточно детально изучена гидрогеологами в пределах складчатых областей. Совсем другая ситуация наблюдается в гидрогеологии Московского региона, где этой связи уделяется крайне незначительное внимание.

В последнее время появилось достаточно много информации, свидетельствующей о том, что начиная с кайнозойского времени в пределах Восточно-Европейской платформы преобладают горизонтальные перемещения. Оказалось, что деформированный осадочный чехол может встречаться в любой части платформы и на любых глубинах. Показано [4], что платформа находится в зоне динамического влияния Скандинавских каледонид, Кавказа и Урала. Надежные свидетельства такого влияния получены как по современным, так и по древним напряжениям. Литературные данные по этому вопросу детально обобщены в работе [5]. Динамическое влияние от коллизионных границ на осадочный чехол платформы с преобладанием субгоризонтальной ориентировки основных полей деформаций убедительно доказано в работах [2, 3].

Изучение мезоструктур в каменноугольных известняках центральной части Русской плиты (Московский регион) с использованием методики компьютерной сепарации трещин по возрасту показало, что в этом регионе широко развиты поля деформаций с субгоризонтальной ориентировкой главных осей напряжений. Выявлен посткаменноугольный цикл деформирования, насчитывающий шесть фаз, при этом установлено, что самый молодой парагенез трещиноватости пространственно совпадает с линеamentным рисунком рельефа и может быть новейшего (вплоть до современного) возраста [6].

При активизации разрывов в плотных породах карбона реактивные напряжения в надразломных областях в рыхлых мезо- и кайнозойских отложениях осадочного чехла должны локализовываться в виде линейных зон с разрывными и пластическими деформациями. При этом породы вдоль оси этих зон из-за максимальной концентрации напряжений будут испытывать динамическое уплотнение над взбросо-сдвигами и разуплотнение над сбросо-сдвигами и, соответственно, иметь пониженную или повышенную водопроницаемость [7]. Кроме того, динамическое разуплотнение в рыхлых отложениях будет возникать в зонах присдвиговых растяжений.

Проявленность тектонических разрывов. При выявлении новейших тектонических разрывов авторы использовали геолого-структурный и морфоструктурный анализ. Положение границ маркирующих горизонтов карбона и подошвы волжского региояруса уточнялось по каротажным диаграммам многочисленных эксплуатационных водозаборных скважин.

Сеть существующих в районе картировочных, разведочных, наблюдательных и эксплуатационных скважин

очень плотная. По геолого-геофизическим данным авторы фиксировали в близко расположенных скважинах положение границ маркирующих горизонтов карбона. Выяснилось, что на некоторых участках в скважинах, расположенных одна от другой на расстоянии нескольких метров, границы горизонтов фиксируются на различных гипсометрических уровнях, достигающих десятков метров. При традиционной стратиграфической интерпретации разреза вырисовывается картина асимметричной складчатости (с углами наклона крыльев складок до 45°), нехарактерной для платформенных условий. При учете разрывной тектоники картина приобретает более реальный «платформенный» облик. В этом случае разрыв прослеживался по простиранию, а по наклону плоскости сместителя намечалась его сбросовая или взбросовая кинематика. Такая интерпретация геологического разреза была осуществлена на всей исследуемой площади.

Анализ мощностей юрского глинистого морского комплекса и положения в пространстве поверхности подошвы волжского региояруса позволил наметить линейные структуры, характерные для келловей-кимериджа. Выяснилось значительное совпадение в пространственном положении линейных структур палеозоя и юры.

Выделенные разрывы авторы отмечали на геолого-гидрогеологическом разрезе и проецировали их выход на земную поверхность. При анализе буровых данных удалось наметить плановую ориентировку основных тектонических нарушений, развитых в отложениях верхних структурных этажей осадочного чехла.

Космические снимки и топографическая основа были использованы для выяснения общего структурного плана современной поверхности территории. Для определения кинематики выделенных линейных зон применялось дешифрирование карт оцифрованного рельефа с модификациями тоновой раскраски и подсветки по сторонам света (оцифровка рельефа осуществлена Е. В. Оливетской). Кинематика выделенного разрыва, в том числе его горизонтальная составляющая, определялась по структурному рисунку. При этом авторы во многом придерживались методики определения кинематики разрывов на основе синтезированного дешифрирования [2, 3]. В районе хорошо выделяются сбросы, в меньшей мере – взбросы и сдвиги. Отметим, что четкой методики выделения сдвигов в пределах осадочного чехла платформ на сегодняшний день не существует.

Ярко выраженные сбросовые эскарпы прослеживаются по правобережью рек Сходня и Москва. При этом сброс (замыкание Рязанского разрыва), пространственно совпадающий с долиной р. Сходня и флексуобразным перегибом в палеозойских отложениях, при восточной вергентности имеет левостороннюю сдвиговую компоненту. Правые сдвиго-сбросы и врезы, пространственно совпадающие с долиной р. Клязьма (Клязьминский разрыв), ориентированы субвертикально. Кинематика этих нарушений подтверждается топографическими данными и характером залегания четвертичных отложений. Серия сближенных взбросов отмечена на левобережье

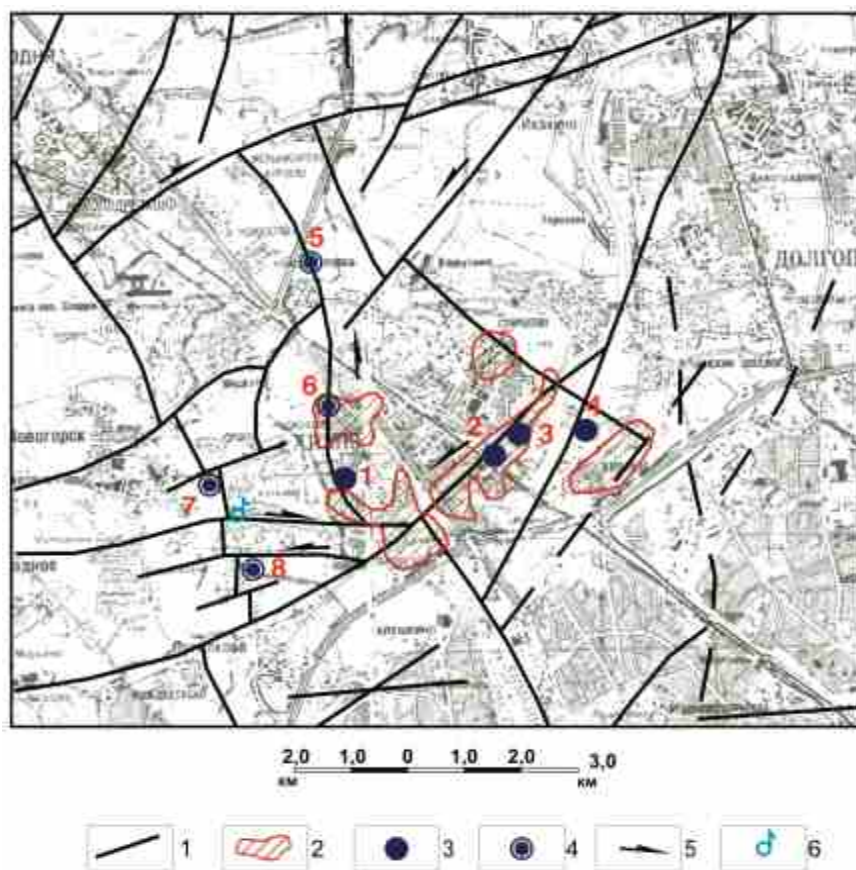


Рис. 1. Схема современных проявлений геодинамической активности тектонических нарушений:

1 – тектонические нарушения; 2 – участки сгущения разрывов водопродных труб; 3 – разрывы в скважинах по данным видеокаротажа; 4 – нарушения герметичности обсадной колонны режимных скважин по данным стационарных наблюдений; 5 – сдвиг; 6 – родник; красными цифрами на рисунке обозначены водозаборы (1 – «Химки-2», скв. № 3; 2 – «Зашкольный», скв. № 1; 3 – «Северный», скв. № 2; 4 – «Левобережный», скв. № 2) и номера режимных кустов (5–8)

верхнего течения р. Сходня. Их взбросовая кинематика определяется по геологическим данным, а юго-восточный наклон плоскостей сместителей – по данным дешифрирования.

В некоторых случаях намечаются «чистые» сдвиги (вертикальная составляющая перемещений по топографии не улавливается). Этот факт может быть обусловлен техногенной сглаженностью рельефа в районе. Субшироко ориентированные сдвиги имеют главным образом правостороннюю составляющую, а северо-восточные – левостороннюю.

Раздвиговые зоны выявляются по участкам локального расширения долин. Такие участки характерны для верховий р. Сходня и нижнего течения р. Банька. Кроме того, раздвиговая зона выявлена в верховьях р. Химка. Эта зона является северным ограничением Z-образного нарушения, расположенного в центре района исследований. Предположительно это – левый сдвиг, северное крыло которого трансформируется в раздвиг. Линия разрыва при сильной изогнутости видна лишь на оцифрованной карте. Судя по структурному рисунку, ось сместителя на юге погружается к востоку, в центре разрыва ориентирована субвертикально, а на севере полого на-

клонена к западу.

Некоторые разрывы определялись на местности. В частности, удалось выделить разрыв по сосредоточенному выходу родников в основании эрозионно-тектонического уступа и проследить его на водоразделе по цепочке растительности, бочажин и озер и только после этого отыскать на карте оцифрованного рельефа и топооснове. Далее по структурному рисунку была определена его кинематика. Это оказался субвертикальный правосторонний сбросо-сдвиг, протягивающийся от среднего течения р. Банька на западе до р. Химка на востоке более чем на 13 км. Судя по смещению оси линейного водораздела, на правобережье рек Сходня и Банька горизонтальная амплитуда новейшего смещения по разрыву может достигать 125 м. Геологические данные показывают, что вертикальная компонента смещения не превышает первых метров. На рис. 1 показаны выявленные с достаточной степенью условности сдвиги, которые несут признаки современной геодинамической активности.

Современная геодинамическая активность разрывов.

В 2007 г. при анализе данных видеокаротажа 8 скважин 7 водозаборов района были выделены зоны повышенной трещиноватости и отдельные трещины, установлена степень их раскрытия. В некоторых случаях удалось определить амплитуды современных смещений стволов скважин по тектоническим нарушениям и тектонический обрыв обсадных труб.

Скважина № 1 ВЗУ «Зашкольный» пробурена на касимовский водоносный горизонт в 1959 г. Глубина скважины 100 м. В скважине обнаружен обрыв обсадной трубы со смещением. Тектоническое нарушение наблюдается в интервале глубин 68,5–70,6 м. Сразу под нижней кромкой оборванной трубы имеется серия ступенчатых наклонных уступов (рис. 2, а). На глубине 70,6 м видна верхняя кромка оборванной трубы. Таким образом, при диаметре обсадной трубы 12 дюймов (300 мм) амплитуда субгоризонтального современного смещения составляет около 15 см. Пространственно скважина приурочена к правостороннему сдвигу северо-восточной ориентировки (см. рис. 1). Вертикальная составляющая предполагаемого смещения около 16 см. Скважина № 2 ВЗУ «Северный» пространственно приурочена к той же тектонической зоне, что и скважина № 1. Пробурена скважина в 1959 г. на подольско-мячковский горизонт, глубина – 178 м. Скважина до глубины 112 м обсажена. На стенках обсадной трубы в результате просачивания по межтрубным соеди-



Рис. 2. Примеры видеокаротажа скважин:

а – в нижнем левом углу снимка видна серия тектонических уступов в известняках, в центре – оборванный край обсадной трубы; *б* – в нижней части снимка видны карбонатные наплывы, разорванные и смещенные открытой наклоненной трещиной; *в* – выдавливание глины в отверстия перфорации (глубина 65 м)

нениям образовались карбонатные натечки. Эти натечки протягиваются и далее в глубину, прослеживаясь на стенках открытого ствола скважины. В интервале глубин 114–121 м в толще мергелей обнаруживается серия сближенных наклонных открытых трещин, разрывающих и смещающих натечные линии (см. рис. 2, *б*). В интервале 145–145,5 м наблюдается зона сближенных крутопадающих открытых трещин, секущих и смещающих субвертикальные закрытые трещины, здесь отмечен интенсивный водоприток. На глубине 147 м имеется субгоризонтальная открытая трещина со смещением стенки ствола скважины с амплитудой около 5 см. На глубине 147,5 м наблюдается сечение пологих открытых трещин субвертикальными закрытыми трещинами со смещением по последним.

Авторы зафиксировали также разрыв обсадной трубы в скважине № 3 водозабора «Химки-2». Скважина была пробурена в 1972 г. В интервале 122–123 м наблюдается серия уступов и разрыв трубы. Амплитуда смещения составляет около 2 см. Пространственно скважина приурочена к Z-образному правостороннему сдвигу (см. рис. 1).

В пределах левого сдвига северо-восточной ориентировки расположена скважина № 2 ВЗУ «Левобережный». Скважина пробурена в 1968 г., глубина – 155 м. Здесь в открытом стволе на глубине 139,8 м в известняках наблюдается серия пологонаклонных открытых кулисообразно ориентированных сколов, характерных для трещин отрыва, образующихся при сдвиге. Последняя открытая трещина отмечена на глубине около 140 м. Вторая подобная зона отрывов обнаружена на глубине 150 м. В этой зоне намечается водопоглощение.

Скважина № 3 водозабора «Южный» пробурена в 1958 г., глубина 100 м. В интервале 60–80 м перфорация фильтровой колонны полностью забита глинистым веществом (за исключением открытого интервала 71–72 м). Глина выжимается в отверстия фильтра, ближе к забою на стенке обсадной трубы видны глинистые натечки, выведенные в перфорацию (см. рис. 2, *в*).

Поведение пьезометрического уровня сети режимных скважин – отражение нарушения обсадных колонн. На исследуемой территории в 1980-х годах было создано четыре куста

режимных скважин на касимовский, подольско-мячковский и окско-протвинский горизонты (см. рис. 1). Они оказались заложены или на выявленных тектонических нарушениях, или в непосредственной близости от них. На рис. 3 показаны колебания уровня в 8 режимных скважинах. В начальный период наблюдений каждая из них отражала положение пьезометрической поверхности соответствующего горизонта. С 1983 г. в скважинах, вскрывающих подольско-мячковский и окско-протвинский горизонты, начался ступенчатый подъем уровня. Амплитуда каждой ступени достигала 35–40 м за два-три года. При этом уровни окско-протвинского горизонта или сразу достигали своего предела, или двигались ступенчато, останавливаясь на некоторое время на уровне подольско-мячковского горизонта. Периоды подъема урельной отмечались в 1983–1989 и в 1994–2000 гг. На этой территории в тех же самых горизонтах в процессе эксплуатации происходило снижение уровня. Единственное объяснение такому явлению – постепенное разрушение обсадных колонн, перекрывающих вышележащие горизонты, с последующим перетеканием подземных вод из вышележащих в нижележащий горизонт. Масштабы перетекания по стволам режим-

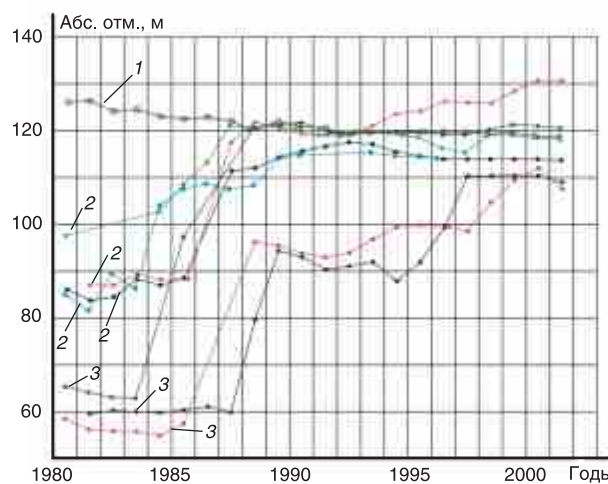


Рис. 3. Графики колебания уровня режимных скважин касимовского (1), подольско-мячковского (2) и окско-протвинского (3) горизонтов (данные 1980–2001 гг.)

ных скважин невелики, поэтому они не оказывают существенного воздействия на более глубокие горизонты. Наиболее вероятное объяснение описанному явлению – наличие в эти периоды времени подвижек по линии разломов с соответствующей деформацией и разрушением обсадных колонн.

Разрывы чугунных водопроводов. Уже после составления схемы дешифрирования новейших разрывов района исследований авторы получили информацию о многочисленных случаях разрывов водопроводных труб. В районе существует разветвленная сеть чугунных труб, обеспечивающая централизованное водоснабжение населения. Служба эксплуатации в течение длительного времени вела мониторинг разрывов труб с указанием даты и места каждой аварии. График частоты разрывов труб, построенный по данным мониторинга за пять лет (2003–2007 гг.), указывает на отсутствие связи разрывов с временами года, т. е. на случайность событий. Разрывы труб вызывают, вероятно, другие причины.

Пространственно места разрывов водопроводов при условно равномерной сети сосредоточены на пяти локальных участках. Совмещение этих участков со схемой новейших разрывов района показало четкую приуроченность разрывов к сдвиговым зонам (см. рис. 1). Ученые Уральского отделения РАН обнаружили с помощью высокоточной аппаратуры GPS, что грунт в зонах тектонических нарушений находится в состоянии постоянной пульсации [8]. Амплитуда колебаний поверхности грунта достигала 10 см, частота колебаний не определялась. Подобные колебания могут являться основной причиной разрыва трубопроводов в зонах тектонических нарушений. Вероятное происхождение таких аварий может быть вызвано неперiodическим прохождением волн деформаций в горных породах, сопровождающимся неравновесными деформациями в зоне динамического влияния разрыва.

Динамика напряженно-деформированного состояния земной коры

Газодинамика тектонических зон. Напряженно-деформированное состояние земной коры (НДС ЗК) зависит от суммарного вектора сил, направленных к данной точке земной коры (ЗК), в том числе обусловленных приливными волнами Солнца и Луны, сейсмотектоническими событиями различного генезиса. При прохождении волн деформаций через исследуемый участок некоторые блоки ЗК, разделенные тектоническими границами, могут начать двигаться относительно друг друга, снимая накопленные ранее напряжения [9]. Существующую флуктуацию поля напряжений на границах блоков можно проследить по поведению радона. Радон – короткоживущий альфа-активный газ, высвобождающийся при нарушении кристаллической решетки горной породы [10]. Изменения деформаций трещиноватых или раздробленных пород, заполняющих зоны разломов, приводят к дополнительному выделению радона, попадающего в зону аэрации или подземные воды.

Исследования активности подпочвенного радона на геодинамическом полигоне Института земных геосфер РАН (Приокский участок Нелидово-Рязанской тектонической структуры) показали возрастание концентрации радона в подпочвенной атмосфере в 2–5 раз на межблоковых границах (нарушения сплошности ЗК) по сравнению со средней на участке концентрацией радона [11, 12].

Возрастание активности радона в грунтовых водах используется в качестве одного из предвестников сейсмотектонических событий (землетрясений). Авторами была предпринята попытка оценки интенсивности подвижек тектонических нарушений путем анализа активности радона в воде эксплуатационных скважин, вскрывающих глубокие горизонты. Для повышения точности работы использовалась гамма-спектрометрия, определяющая радиоизотоп радона Pb-214. В итоге удалось получить картину пространственного распределения радона в интервале глубин от 70 до 300 м в период 2007–2009 гг. Были использованы также данные радиологических исследований подземных вод в тех же скважинах в 2004 и 2006 гг.

Эсхалация радона происходит на тех глубинах, где существуют достаточно интенсивные подвижки по зонам нарушений. Поэтому скважины, удаленные от подвижных зон или расположенные вблизи стабильных зон, должны показывать более низкие значения активности, чем скважины, находящиеся вблизи нестабильных зон. В приведенной таблице результатов радиологического опробова-

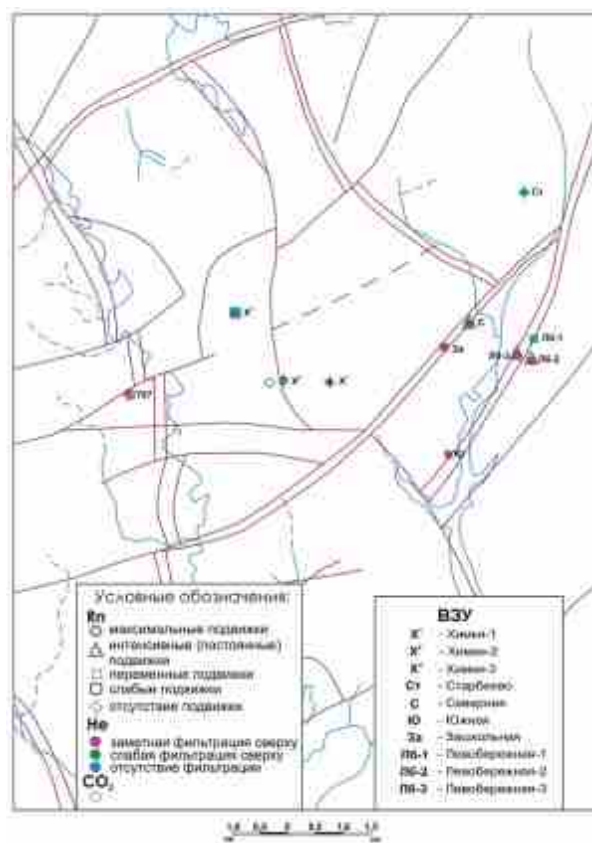


Рис. 4. Схема результатов интерпретации газодинамики напорных водоносных горизонтов

ния отмечаются колебания активности радона от 5 до 54 Бк/л. Принимаем следующие градации степени стабильности НДС ЗК в зоне влияния каждой скважины (Бк/л): стабильное состояние – активность радона менее 10, слабые подвижки – 10–15, подвижки – 16–25, сильные подвижки – 26–34, исключительные подвижки – ≥ 35 .

Для комплексной оценки влияния тектонических нарушений на фильтрацию подземных вод при эксплуатации трех водоносных горизонтов было использовано гелиевое опробование эксплуатационных скважин. Полученные результаты включены в ту же таблицу.

Распределение гелия в подземных водах определяется потоком гелия, направленным снизу вверх и проникающим по ослабленным зонам ЗК вплоть до поверхности.

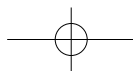
предления приведенных в таблице концентраций гелия необходимо учесть, что субвертикальное движение подземных вод по тектоническим нарушениям (ослабленным зонам) направлено сверху вниз, в соответствии с положением пьезометрических поверхностей каждого горизонта. Интенсивность потока гелия, направленного вверх, снижается в тех тектонических зонах, где существует заметный встречный переток воды сверху вниз. Комплексная интерпретация представленных в таблице результатов анализа содержания радона и гелия проводится с учетом перечисленных выше позиций. В частности, выделяются зоны длительных интенсивных подвижек, подвижек переменной интенсивности, исключительной интенсивности, слабой интенсивности (рис. 4).

Результаты радиологического и гелиевого обследования скважин

ВЗУ, номер скважины	Возраст	Концентрация, 10^{-5} мл/л				Интерпретация
		Pb ₂₁₄ (2007 г.)	Rn (2006 г.)	Rn (2004 г.)	He (2007 г.)	
«Левобережный», № 3	C ₁ ok-pr	7,44 (2,26)	3,87	4,47	240,6 (206,4)	Стабильно. Фильтрации нет
«Левобережный», № 7	C ₁ ok-pr	20,5	23,8	15,12	105,7	Постоянные подвижки. Заметная фильтрация
«Зашкольная», № 3	C ₂ pd-mc	10,6	14,8	20,44	14,7	Переменные подвижки. Заметная фильтрация
«Северный», № 2	C ₂ pd-ms	27,3	36,99	29,8	46,4	Интенсивные подвижки. Фильтрации нет
«Северный», № 3	C ₂ pd-ms		27,37	26,67	47,0	То же
«Химки-1», № 4	C ₂ pd-mc		11,63		36,4 (44,0)	Слабые подвижки. Фильтрации нет
«Химки-2», № 3	C ₁ ok-pr	5,16	3,98		115,4 (139,9)	Стабильно. Фильтрация слабая
«Химки-2», № 5	C ₃ ksm		3,42			Выбросы CO ₂
«Химки-3», № 3	C ₁ ok-pr	3,13	8,06		229,2	Стабильно. Фильтрации нет
УТЦ, № 707	C ₁ ok-pr	54,4 (49,0)				Максимальные подвижки. Интенсивная фильтрация
УТЦ, № 706	C ₂ pd-mc	35,0				То же

Для каждого участка ЗК характерна определенная плотность потока, которая может изменяться во времени. Эксплуатационные скважины перехватывают часть гелия соответствующего горизонта, снижая плотность потока в вышележащем горизонте, отделенном от нижележащего относительным водоупором. В процессе длительной эксплуатации водонапорной системы трех горизонтов в каждом из них установилось относительное равновесие между притоком гелия снизу, извлечением его с потребляемой водой и фильтрацией остатков гелия вверх, в вышележащий горизонт. Приводим равновесные концентрации гелия (мл/л) для каждого горизонта: окско-протвинский – $(230\pm 240)\cdot 10^{-5}$, подольско-мячковский – $(45\pm 50)\cdot 10^{-5}$, касимовский – $(5\pm 9)\cdot 10^{-5}$. Таким образом, в условиях интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов из $300\cdot 10^{-5}$ мл/л гелия, направленного из недр, до поверхности может дойти менее 2 %. Для анализа закономерностей рас-

Интенсивные подвижки, обнаруженные в скважинах по высокой активности радона, соответствуют выделенным на схеме некоторым зонам тектонических нарушений – сдвигам (см. рис. 1). Сопоставим картину радоновых аномалий с распределением гелия. Пониженное по сравнению с равновесным содержанием гелия в соответствующем горизонте отмечается в скважинах № 7 и 3 (ВЗУ «Левобережный»), № 5 («Южный»), № 3 («Зашкольный»), № 1 («Химки-2»), что соответствует перетоку воды на участках выделенных зон. В единственной скважине № 3 («Химки-1»), расположенной вне тектонических нарушений, отмечено низкое содержание гелия, связанное с прямым интенсивным перетоком воды из верхних горизонтов внутри обсадной колонны. Таким образом, на схеме можно выделить две зоны северо-восточного простирания, подвижные, по крайней мере с 2000 г., по которым происходит переток воды из касимовского в подольско-



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

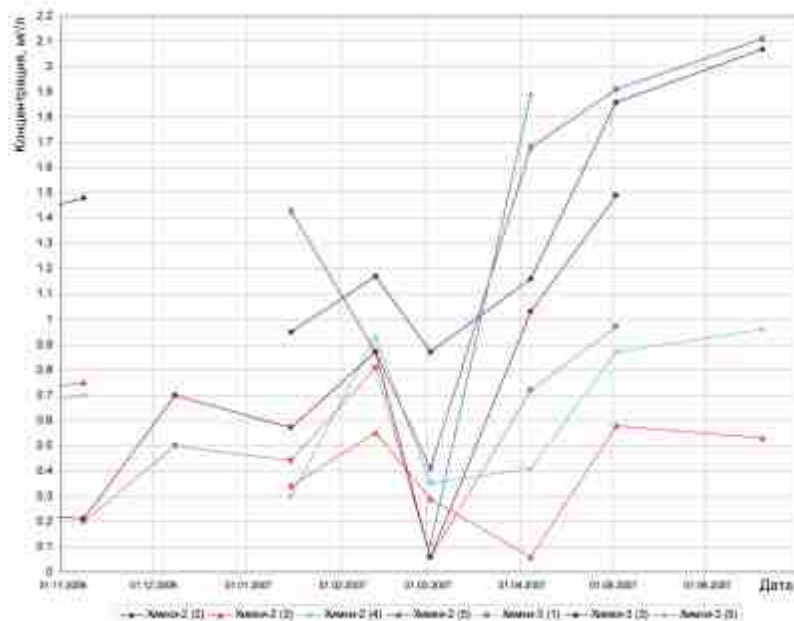


Рис. 5. Изменение мутности воды эксплуатационных скважин во времени

мячковский горизонт, а из последнего – в окско-протвинский. Максимальные подвижки отмечены в зоне разрыва, ориентированного с юго-запада на северо-восток, нормально к Сходненской тектонической зоне (скважина № 707). В воде скважины № 707, вскрывающей окско-протвинский горизонт, обнаружена группа элементов,

характерных для захоронения специальных отходов. Это может указывать на фильтрацию воды с поверхности к наиболее глубокому горизонту. Субдолготная тектоническая зона, вскрытая скважинами № 1–4 («Химки-2»), является в настоящее время раскрытой для слабой инфильтрации между смежными горизонтами, но устойчиво стабильной, в отличие от 1980-х годов. Выбросы углекислого газа подтверждают открытость этой зоны (скважина № 5, «Химки-2»).

Колебания мутности воды эксплуатационных скважин как показатель динамики НДС ЗК. В период 2005–2007 гг. на водозаборных узлах исследуемого района был проведен мониторинг некоторых параметров подземных вод напорных водоносных горизонтов. Особый интерес представляют колебания мутности воды (рис. 5). При рассмотрении графика изменения мутности следует учитывать, что этот показатель не

определяется концентрацией железа в воде, поскольку при высоких концентрациях железа изменение мутности более чем на порядок превышает изменение концентрации железа (в мг/л), а при небольших концентрациях, наоборот, возрастание мутности происходит при одновременном снижении содержания железа. Практически мутность связана с разрывом глинистых слоев, присутствующих в разрезе пород карбона. Разрыв происходит или в процессе горизонтальной фильтрации на границе проницаемых горизонтов известняков и смежных пластов глин, или в процессе размыва глин при их продавливании (выпоре) в перфорацию в процессе движения воды в фильтровой колонне (см. рис. 2, в).

Даже при неперодичности отбора проб воды на графиках отмечается когерентность колебаний мутности в разных ВЗУ, а в пределах одного ВЗУ – в различных горизонтах. Вероятное объяснение такого поведения мутности в процессе длительной эксплуатации – неперодические колебания напряженности отдельных блоков геопространства, вызванных волнами деформации. На процессы сжатия и растяжения сильнее всего реагируют более пластичные породы – глины. Отсюда – растяжение глин, иногда вплоть до выпора в перфорацию, сопровождающегося повышением мутности на порядок с последующим снижением в процессе размыва глины и последующего сжатия породы. На рис. 5 при более равномерном отборе проб на мутность отмечаются неперодические колебания сжатия и растяжения пород во времени и по степени относительных деформаций, соответствующих амплитуде волны сжатия и растяжения. Период прохождения такой волны деформации – от 2 до 3 мес и более.

Таким образом, водонасыщенный массив горных пород может испытывать медленные деформации, связанные с прохождением волн различного генезиса, и более

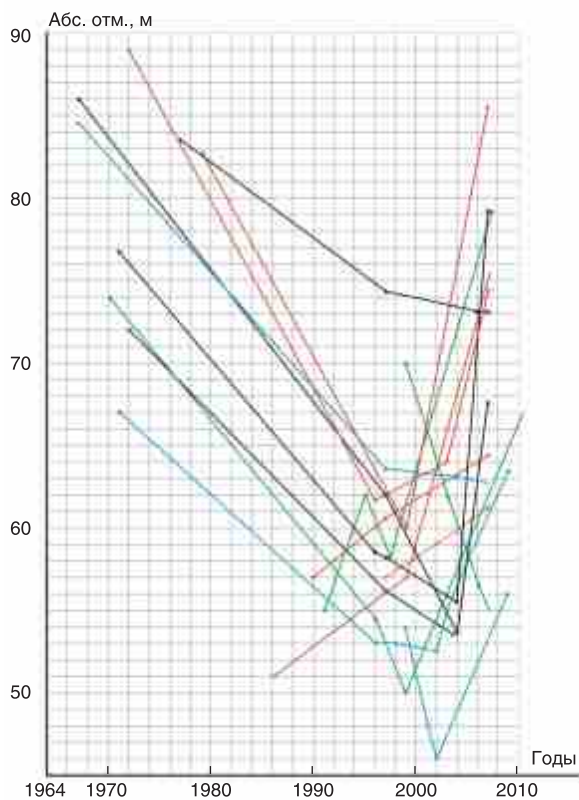
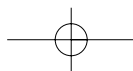


Рис. 6. Графики колебания уровня окско-протвинского горизонта



частые колебания деформаций, приуроченных к тектоническим границам блоков. Первые из них влияют на мутность воды в эксплуатационных скважинах в случаях повреждения обсадных колонн и разрывов трубопроводов, вторые – на поведение радона в ослабленных зонах.

Влияние динамики НДС ЗК на субвертикальную фильтрацию природных вод. Длительная эксплуатация напорных горизонтов центральной части Московского артезианского бассейна привела к созданию некоторого градиента напора, направленного от поверхностных вод к наиболее глубоким водоносным горизонтам. Питание эксплуатационных горизонтов зависит не только от бокового притока, но и от перетекания сверху через ослабленные зоны (тектонические нарушения). Масштаб перетекания связан с проницаемостью таких зон.

В 2001 г. исследованиями влияния прохождения уединенных тектонических волн на проницаемость ослабленных зон, проведенными в ОИФЗ им. О. Ю. Шмидта на трехмерной математической модели проф. И. А. Гарагашем, было установлено, что в результате возмущения, вызванного прохождением волны деформации через зону трещиноватости, может быть превышено предельное состояние участка разлома со скачкообразным изменением физических параметров структуры. В частности, резко возрастает проницаемость (на 2 порядка) и пористость (в 5 раз). Длительная релаксация напряжений после прохождения уединенной волны может привести к катастрофическим выбросам газа с больших глубин.

На участке исследований интенсивные подвижки по некоторым зонам тектонических нарушений привели к увеличению проницаемости этих зон и соответствующему региональному росту пьезометрического уровня окско-протвинского водоносного горизонта (рис. 6). Возрастание объемов перетекания между касимовским и межморенным водоносным горизонтом неоплейстоцена, обогащенным железом, привело к загрязнению касимовского горизонта в области влияния нестабильных ослабленных зон. Аналогичное загрязнение в последнее время (2004–2007 гг.) может испытывать и подольско-мячковский горизонт. Фильтрация воды сверху вниз в районе тектонической зоны, вскрытой скважиной № 707 (см. рис. 4), достигает 100–150 л/с. Именно в таких условиях интенсивных колебаний деформации ЗК возможна прямая связь поверхностных загрязнений с глубокими горизонтами.

Гидродинамический метод определения линейных границ поля фильтрации. При проведении кустовых откачек в напорном подольско-мячковском горизонте скорость снижения уровня чувствительна к расположенным неподалеку от точек возмущения прямолинейным границам, особенно водоупорным, фиксирующим резкое изменение поля проводимости.

Рассмотрим поведение двух полулогарифмических графиков прослеживания – на ВЗУ «Северный» и ВЗУ «Химки-2» (рис. 7). На первом отмечается быстрое включение «водоупорной» границы, увеличивающей уклон графика прослеживания почти в два раза. На ВЗУ «Хим-

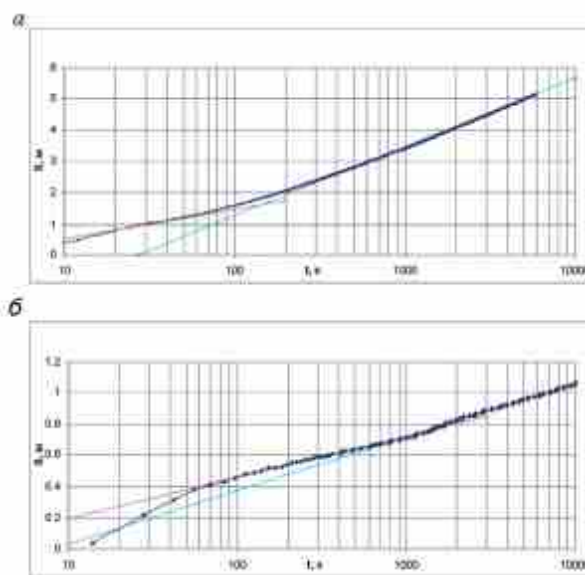


Рис. 7. Полулогарифмические графики прослеживания: а – ВЗУ «Северный»; б – «Химки-2»

ки-2» действие границы указывает на снижение проводимости за ее чертой в 2 раза. В этой ослабленной зоне (см. рис. 4) в настоящее время подвижки отсутствуют (они были в 1980–1990-х годах), фильтрации воды нет, но обнаружены локальные выбросы углекислого газа. Таким образом, «гидроразведка» подтверждает существование линейных гидродинамических границ, положение которых соответствует некоторым выделенным неотектоническим нарушениям (см. рис. 1).

Выводы

1. На территории исследований с помощью современных методов морфоструктурного анализа обнаружена система тектонических нарушений и установлена их кинематика. Четкая выраженность выявленных разрывов в современном рельефе указывает на их новейший возраст.
2. Современная геодинамическая активность выявленных разрывов подтверждается деформацией технических сооружений на глубинах от 0 до 250 м и смещением открытых стволов эксплуатационных скважин по «живым» трещинам. Зоны тектонических нарушений имеют разную степень подвижности в настоящем и более ранние периоды времени в пределах 10–25 лет.
3. «Гидроразведка» с помощью опытных кустов подтвердила существование линейных гидродинамических границ. Раскрытые тектонические зоны обладают повышенной проницаемостью и, соответственно, повышенными масштабами перетекания. В некоторых ослабленных зонах отмечается субвертикальная фильтрация между напорными водоносными горизонтами, направленная сверху вниз.
4. Непериодическая деформация водоносных комплексов вызывает изменения качества подземных вод в процессе эксплуатации, в частности рост показателя мутности.

5. Система новейших тектонических нарушений может контролировать гидродинамический и гидрохимический режим фильтрации водонапорной системы южного крыла Московского артезианского бассейна, особенно проявляясь в периоды геодинамической активности земной коры в условиях формирования дифференцированных депрессионных воронок напорных водоносных горизонтов.

6. Динамика поведения радона и гелия в скважинах позволяет оценить положение локальных участков питания и (или) загрязнения напорных водоносных горизонтов. Для повышения эффективности разведки необходима постановка газодинамических исследований на основе достоверной неотектонической схемы. ■■■

The effect of the earth's crust geodynamic activity on the water drive system of the southern slope of Moscow Artesian Basin.

V. A. Manukyan, Dr. Sc. (Geol.-Mineral.) Lead Hydrogeologist, O. V. Pini-gin, Chief Geologist (ZAO Spetsgeokologiya)

Based on the analysis of remotely sensed data and geological-geophysical evidence a system of neofomed tectonic faults with indicators of recent geodynamic activity has been identified on the slope of Moscow Artesian Basin. By method of fluid dynamic research into the water drive system and with the analysis of the location and time of deformation of various engineering structures a relation has been found between the dynamics of the stress-strained state of rocks and the extent of interaction of confined aquifers in the process of water pumping. Permeability of tectonic faults depends on the extent of mobility of these structures. With intensive fluctuations of strains the permeability of the zones dramatically increases, probability of confined aquifer contamination from surface sources grows, while the stability of casing strings and filter pipes of wells declines.

Key words: Moscow Artesian Basin, geological and hydrogeological conditions, tectonic faults, geodynamic activity of faults, flow dynamics of tectonic zones, underground water turbidity indicator, aquifers, underground water filtration.



Список литературы=References

1. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Серия Московская. Лист № 37-II (Москва) // С.-Петербург, 2001. = State Geological Map of the Russian Federation. Scale: 1:200,000. Moscow Series. Sheet No 37-II (Moscow) // St. Petersburg, 2001 (in Russian).
2. Копп М. Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. = M.L. Kopp. Mobilistic neotectonics of Platforms in Southeastern Europe. M.: Nauka Publishers, 2005 (in Russian).
3. Копп М. Л. Новейшая тектоника и геодинамика. Область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. М.: Наука, 2006. = M.L. Kopp. Neotectonics and geodynamics. The junction zone of the East-European Platform and the Skythian plate. M.: Nauka Publishers, 2006 (in Russian).
4. Шчук Ю. К., Краснопецев Г. В. Тектоническая делимость земной коры Восточно-Европейской платформы // Геофизика. 1996. № 4. С. 21–25. = Yu.K. Shchukin, G.V. Krasnopevtsev. Tectonic divisibility of the Earth's crust of the East-European Platform // Geofizika. 1996, № 4, pp. 21–25 (in Russian).
5. Леонов Ю. Г. Тектоническая подвижность платформ: факторы и соображения // Геотектоника. 1997. № 4. С. 11–14. = Yu.G. Leonov. Tectonic mobility of platforms: factors and arguments // Geotektonika, 1997. № 4, pp. 11–14 (in Russian).
6. Палеонапряжения центральных районов Русской плиты (по геологическим и геоморфологическим данным) / О. И. Гущенко [и др.] // Теоретические и региональные проблемы геодинамики: Труды ГИН РАН. М.: Наука, 1999. Т. 368. № 2. С. 160–165. = Paleostresses of the central areas of the Russian plate (by geological and geomorphologic data) / O. I. Gushchenko [et al.] // Theoretical and regional problems of geodynamics: Proceedings of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences. M. Nauka Publishers, 1999, vol. 368, № 2, pp. 160–165 (in Russian).
7. Крапивнер Р. Б., Плугина А. Л., Язвин А. Л. Роль разломов в формировании фильтрационных неоднородностей верхнего гидрогеологического этажа // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 18–21. = R.B. Kravivner, A.L. Plugina, A.L. Yazvich. The role of faults in the formation of filtration heterogeneities of the upper hydrogeological level. // Razvedka i Okhrana Nedr. 2003, № 10, pp. 18–21 (in Russian).
8. Сатурин А. Д. Современная геодинамика и техногенные катастрофы // Сборник докладов международной конференции «Геомеханика в горном деле-2002» 19–21 ноября 2002 г. Екатеринбург, ИГД УрО РАН. = A. D. Saturin. Recent geodynamics and technogenic catastrophes // Collected Papers of the International Conference: Geomechanics in Mining 2002, 19–21 November, 2002 Yekaterinburg, IGD Uralian Branch, Russian Academy of Sciences (in Russian).
9. Манукьян В. А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния соляных куполов // ДАН. 2002. Т. 384. № 3. С. 78–183. = V. A. Manukyan. Monitoring of the stress-strained state of salt domes. // DAN, 2002, vol. 384, № 3, pp. 378–384 (in Russian).
10. Николаевский В. Н. Геомеханика и флюидодинамика. М., Недра, 1996. = V. N. Nikolaevskiy, Geomechanics and fluid dynamics. M. Nedra Publishers, 1996 (in Russian).
11. Адушкин В. В., Спивак А. А., Кожухов Ю. В. Резонансные особенности эсхалиции природного радона // ДАН. 2005. Т. 400. № 3. С. 369–371. = V.V. Adushkin, A.A. Spivak, Yu.V. Kozhukhov, Resonance features of natural radon seepage // DAN, 2005, vol. 400, № 3, pp. 369–371 (in Russian).
12. Спивак А. А., Кожухов С. А. Пространственно-временные вариации природного радона в подпочвенной атмосфере // ДАН. 2004. Т. 394. № 5. С. 1–3. = A.A. Spivak, Yu.V. Kozhukhov, Space-time variations of natural radon in subsoil atmosphere // DAN, 2004, vol. 394, № 5, pp. 1–3 (in Russian).