

## СТАТЬЯ

УДК 624.131.1

DOI 10.17513/use.38218

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ТЕРРИТОРИИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДА ИННОПОЛИС  
(РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)****<sup>1</sup>Королев Э.А., <sup>1</sup>Ескин А.А., <sup>1</sup>Королев А.Э., <sup>2</sup>Бариева Э.Р.**<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань,  
e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,  
e-mail: enzab143@mail.ru

Рассмотрены инженерно-геологические условия территории строительства г. Иннополис, расположенной на северо-восточной окраине Приволжской возвышенности в месте слияния рек Свияга и Волга. Градостроительная деятельность ведется в пределах выравненной эрозионно-денудационной поверхности останца западной окраины Услонского массива. По особенностям строения рельефа территория относится к категории пересеченной равнины с хорошей степенью пригодности для градостроительного освоения. В строении грунтового массива принимают участие карбонатные породы казанского яруса, карбонатно-терригенные породы уржумского яруса, терригенные породы северодвинского яруса и комплекс покровных четвертичных отложений. Чередование в разрезе разновозрастных доломитов, доломитовых мергелей, глин, алевролитов и песчаников создало предпосылки для образования в массиве на разных стратиграфических уровнях водоносных горизонтов. Пластовые подземные воды сформировали три водоносных комплекса: водоносный локально водоупорный неогеново-четвертичный терригенный комплекс (N-aQ), слабоводоносный карбонатно-терригенный комплекс (P2kt) и слабоводоносный локально водоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс (P2ur). По совокупности геологических и гидрогеологических факторов территория градостроительства относится к III категории сложности. Поверхность грунтового массива подвержена проявлениям негативных геодинамических процессов: выветриванию, плоскостному смыву, овражной эрозии и сходу оползней. Экзогенные деформационные процессы осложняют условия строительства, требуя к себе повышенного внимания при планировке территории.

**Ключевые слова:** Республика Татарстан, Иннополис, грунтовый массив, породы, подземные воды, геодинамические процессы

**FEATURES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS  
OF TERRITORY FOR THE INNOPOLIS CITY CONSTRUCTION  
(TATARSTAN REPUBLIC)****<sup>1</sup>Korolev E.A., <sup>1</sup>Eskin A.A., <sup>1</sup>Korolev A.E., <sup>2</sup>Barieva E.R.**<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;<sup>2</sup>Kazan State Energy University, Kazan, e-mail: enzab143@mail.ru

The engineering and geological conditions of the construction site of the Innopolis city, located on the northeastern edge of the Volga Upland at the confluence of the Sviyaga and Volga rivers, are considered. Urban planning activities are carried out within the leveled erosion-denudation surface of the remnant of the western outskirts of the Uslon massif. According to the structural features of the relief, the territory belongs to the category of rugged plain with a good degree of suitability for urban development. Carbonate rocks of the Kazanian stage, carbonate-terrigenous rocks of the Urzhumian stage, terrigenous rocks of the Severodvinian stage and a complex of cover Quaternary deposits take part in the structure of the soil massif. The alternation in the section of dolomites of different ages, dolomite marls, clays, siltstones and sandstones created the prerequisites for the formation of aquifers in the massif at different stratigraphic levels. Reservoir groundwater formed three aquifer complexes: the aquiferous locally waterproof Neogene-Quaternary terrigenous complex (N-aQ), the weakly aquiferous Kotel' nich (Severodvinian) carbonate-terrigenous complex (P2s) and the weakly aquiferous locally aquiferous Urzhumian carbonate-terrigenous complex (P2ur). Based on the combination of geological and hydrogeological factors, the urban planning area belongs to category III of complexity. The surface of the soil massif is subject to manifestations of negative geodynamic processes: weathering, planar washout, gully erosion and landslides. Exogenous deformation processes complicate construction conditions, requiring increased attention when planning the territory).

**Keywords:** the Tatarstan Republic, Innopolis, soil massif, rocks, groundwater, geodynamic processes

Большинство городов России имеют длительную историю развития. Возникнув в наиболее выгодных с точки зрения географического положения местах, они на протяжении длительного периода времени про-

должили свое существование как центры торговли и концентрирования ремесленных производств, а позже и административно-управления [1]. В современных реалиях устоявшихся торгово-производственных

связей между и внутри субъектов федерации образование новых городов представляет собой редкое явление. С точки зрения планировки развития урбанизированных территорий гораздо выгоднее укрупнять уже существующие городские поселения [2]. Однако новые веяния времени заставляют изменить эту точку зрения. Модель организации интеграционного взаимодействия востребованных научных специалистов и образовательных учреждений, а в перспективе и промышленных предприятий обуславливает выгоду образования новых центров регионального развития в виде небольших городов. Одним из таких городских поселений является г. Иннополис в Республике Татарстан, заложенный в 2012–2015 гг. [3]. Здесь, на относительно небольшой территории, предполагается организовать бизнес-центр с представительством крупнейших российских компаний, построить университет, жилые комплексы для IT-специалистов. Неслучайно в массмедиа г. Иннополис упоминается как российская «Силиконовая долина».

Возведение всех крупных новостроек в обязательном порядке сопровождается инженерно-геологическими изысканиями, направленными на определение особенностей строения грунтовых массивов [4]. Последовательность застройки территории г. Иннополис отдельными участками предопределила растянутость изысканий по площадям на многие годы. Однако накопленный к настоящему времени массив данных позволяет уже сейчас дать комплексную оценку грунтовой толщ и характера проявлений опасных геологических процессов.

Целью работы являлось изучение строения грунтового массива в основании г. Иннополис, выделение в нем основных инженерно-геологических элементов, выявление горизонтов подземных вод, а также участков проявления негативных геодинамических явлений.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалы для анализа – керновый материал буровых скважин, результаты статического зондирования, маршрутные наблюдения по территории, выделенной под строительство г. Иннополис. При описании скважин проводился отбор грунтовых монолитов для последующих лабораторных исследований. По результатам статического зондирования выделялись инженерно-геологические элементы, в которые будут заглублены подземные железобетонные

конструкции зданий и сооружений. В ходе маршрутных исследований территории выявлялись участки проявления негативных геодинамических процессов, по бортам оврагов и речных долин осуществлялся забор родниковых вод с целью определения их химического состава.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Основой планировки градостроительной деятельности являются геоморфологические особенности местности, определяющие направления подготовительных земляных работ. В этом отношении выбор территории для возведения г. Иннополис оказался более или менее оптимальным. При рациональном подходе к плановому строительству можно поэтапно осуществлять мероприятия инженерной подготовки участков строительства под те или иные объекты с сохранением окружающего природного ландшафта в местах вероятных проявлений опасных геологических процессов.

Географически г. Иннополис расположен на северо-восточной окраине Приволжской возвышенности в месте слияния рек Волга и Свияга, напротив остров-града Свияжск. Территория городской застройки, несмотря на относительно небольшие размеры (192,7 га), характеризуется сильно расчлененным рельефом и сложными инженерно-геологическими условиями (рис. 1). С севера она ограничена крутыми обрывами речной долины р. Волга, с запада – склонами долины р. Свияга, с востока – долиной ручья Морквашинка, на севере – примыкает к полого-наклонному холмистому плато Приволжской возвышенности. Сама территория, выделенная под строительство города, приурочена к эрозионно-денудационной поверхности останца западной окраины Услонского массива. Останец возвышается в рельефе на гипсометрических отметках 192–218 м, понижаясь в сторону оврагов и речных долин до уровня 120–140 м. Перепады высот доходят до 100 м. Основная часть ландшафта городской застройки представляет собой холм с выровненной вершиной, ограниченной с боков более крутыми склонами. Склоны осложнены разветвленными овражно-балочными системами, протяженностью до 3,6 км. В тальвегах оврагов протекают небольшие ручьи, питание которых осуществляется нисходящими родниковыми водами. Областью разгрузки поверхностных водотоков является долина Волги.

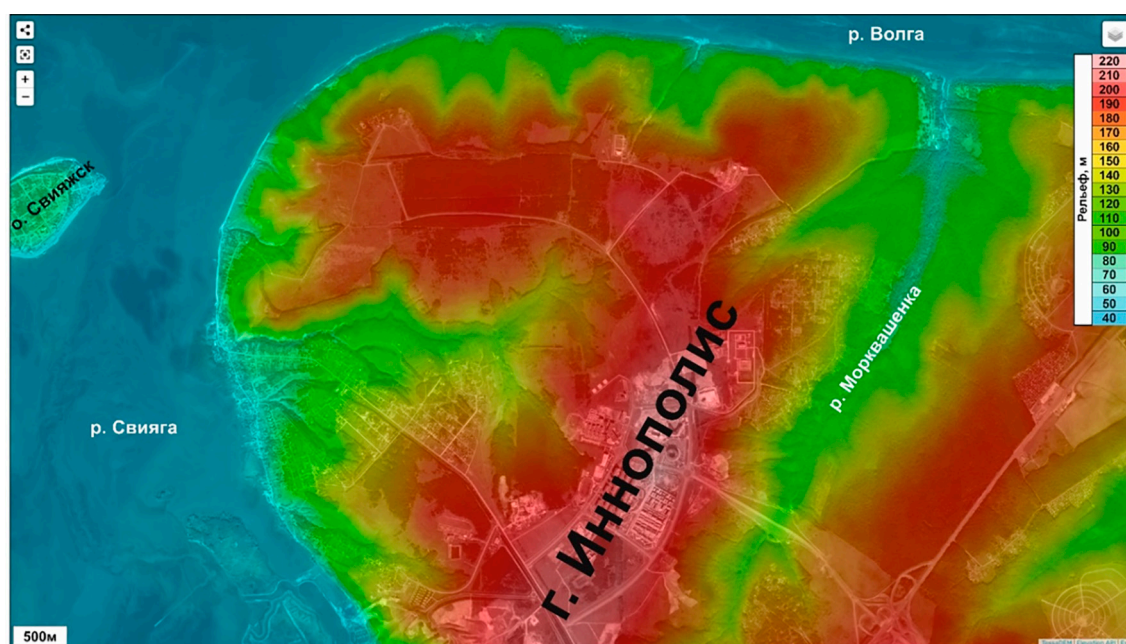


Рис. 1. Фрагмент топографической карты участка строительства города Иннополис (выкопировка с ru-ru.topographic-map.com)

К бортам речных долин приурочены более мелкие формы рельефа, представленные циркуобразными оползнями и оползнями-сплывами, реже – вывалами глыб карбонатных пород. То есть с геоморфологической точки зрения территория относится к категории пересеченной равнины с хорошей степенью пригодности для градостроительного освоения [5].

Полевые исследования в районе останца Услонского массива показали, что территория, отведенная под строительство г. Иннополис, характеризуется сложным геологическим строением (рис. 2). Основу ядра грунтового массива, возвышающегося над урезом воды р. Волга, составляют карбонатные породы казанского яруса ( $P_2kz$ ). В естественных выходах они представлены светло-серыми, плотными, мелкозернистыми доломитами и органогенно-обломочными известняками. Породы секутся, разбиты многочисленными вертикальными и горизонтальными трещинами, количество которых уменьшается от периферии вглубь массива. Трещины преимущественно экзогенные, по происхождению относятся к трещинам разгрузки. Видимая мощность казанского яруса составляет около 15 м. Выше по разрезу залегают отложения карбонатно-терригенного комплекса уржумского яруса ( $P_{2ur}$ ). В нем отмечается частое переслаивание светло-серых, мелкозернистых доломитов, зеленовато-серых и розово-красных

доломитовых мергелей, красно-бурых глин с прослоями алевролитов. В разрезе снизу вверх увеличивается количество и мощности терригенно-глинистых слоев и уменьшается доля доломитовых прослоек. Породы менее прочные, более интенсивно трещиноватые, способны легко разрушаться и осыпаться при слабых механических воздействиях. Мощность отложений уржумского яруса доходит до 45,0 м. Над ними залегают породы терригенного комплекса северодвинского яруса ( $P_3s$ ), слагающие вершину водораздела рек Волга и Свияга (купольная часть останца). В разрезах этого возраста переслаиваются красные глины, бурые алевролиты и зеленовато-серые песчаники с редкими прослоями известняков и мергелей. Мощность отложений северодвинского яруса доходит до 20,0 м. В кровле геологического разреза, в пределах купольной части останца, коренные породы пермского возраста на глубину до 3,5 м претерпели гипергенные преобразования. Поэтому приповерхностный слой грунтового массива от почвенного горизонта и ниже, до глубины залегания интенсивно дезинтегрированных глин, мергелей и известняков, можно отнести к четвертичным покровным отложениям. В подошве четвертичных отложений повсеместно отмечается слой элювия ( $eQ_{II-IV}$ ), представленный щебнем и дресвой карбонатных и глинистых пород, в различной степени цементированных рыхлым

глинисто-алевритовым материалом. Над ними залегает слой рыхлых, светло-бурых делювиальных суглинков ( $dQ_{II-IV}$ ). Суглинки участками опесчаненные или с включениями обломков алевритов и известняков (до 5%). От купольной части эрозионно-денудационного останца к склонам толщины делювиального слоя увеличиваются с 3,0 до 10,0 м [6]. На склонах между элювиальными и делювиальными отложениями отмечаются относительно небольшие по мощности прослойки пролювия ( $prQ_{III-IV}$ ) в виде суглинков, обогащенных древесными обломками коренных пород пермского возраста. В пределах овражно-балочных систем на локальных участках площадей присутствуют современные техногенные грунты в виде насыпей строительных и бытовых отходов ( $tQ_{IV}$ ).

Маршрутные полевые наблюдения показали, что подземные водоносные горизонты в верхней части разреза приурочены к четвертичным отложениям и к терриген-

ным породам северодвинского яруса. В несколько меньших количествах они встречаются в карбонатно-терригенных отложениях уржумского яруса.

В породах четвертичного возраста, входящих в состав локально водоносного неоген-четвертичного (N-aQ) водоносного комплекса, встречаются преимущественно грунтовые воды. Водоносные слои фиксируются на склонах грунтового массива, где отмечаются повышенные мощности элювиально-делювиальных отложений. Водовмещающими породами являются трещиноватые элювиальные образования, водоупорами – слабо измененные породы дочетвертичного возраста. Грунтовые воды безнапорные, со свободной поверхностью, движутся по направлению к долинам рек Волга и Свияга. Очаги их разгрузки встречаются в средних частях склонов в виде рассеянных выходов. Воды по составу гидрокарбонатные кальциевые, с минерализацией до 0,2 г/л.

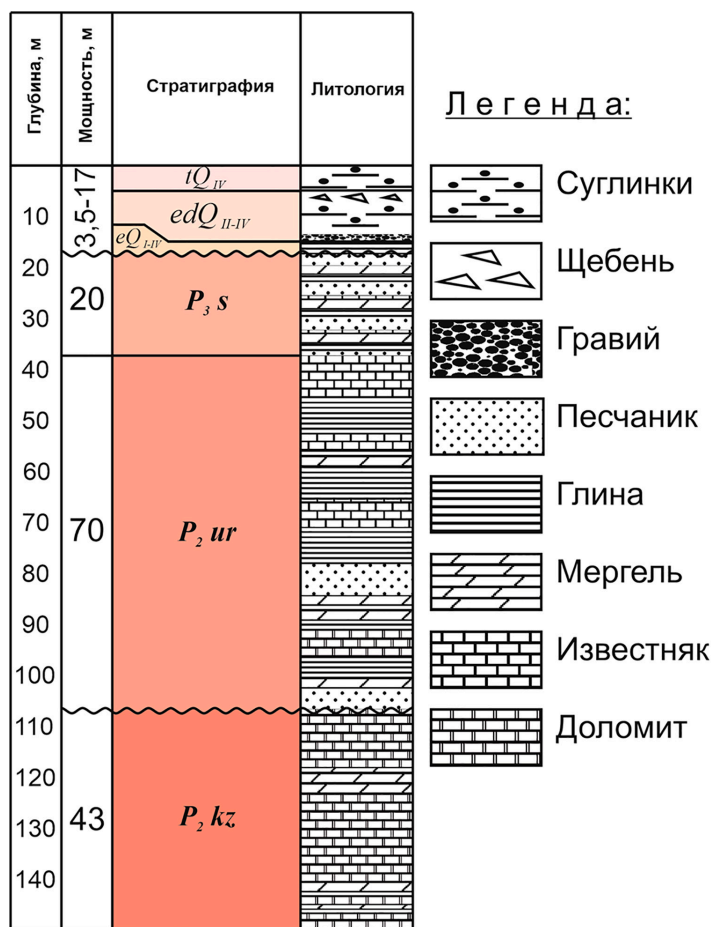


Рис. 2. Схематичный разрез грунтового массива, отведенного под строительство города Иннополис. Скомпилирован по результатам бурения и маршрутным наблюдениям (за условную нулевую отметку принята поверхность земли)

Породы северодвинского яруса являются водоносными в пределах выровненной вершины эрозионно-денудационного останца, на склонах они отсутствуют. Высокая трещиноватость и невыдержанность по простиранию слоев глин, песчаников, известняков и мергелей создали предпосылки для формирования здесь единой водоносной системы, относящейся к локально слабОВОдоносной котельничской карбонатно-терригенной свите ( $P_3kt$ ) в соответствии с гидрогеологическим расчленением разреза [7]. Основная часть водоносных горизонтов приурочена к слоям песчаников. Воды слабо напорные, разгружаются в виде нисходящих родников в стенках оврагов и речных долин с дебитом 0,01–0,1 л/с (реже 0,2–0,25 л/с). Источником питания пластовых подземных вод являются атмосферные осадки. Воды пресные (0,2–0,6 г/л), по составу гидрокарбонатно-кальциевые.

Ниже в разрезе грунтового массива расположен локально водоносный карбонатно-терригенный комплекс уржумского яруса ( $P_2ur$ ). Он сложен переслаивающимися глинами, песчаниками, мергелями, доломитами и известняками. Водоносные горизонты приурочены к склонам эрозионно-денудационного останца, где залегают трещиноватые карбонатные породы и песчаники. Воды комплекса пластовые, напорно-безнапорные, по составу гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с минерализацией от 0,3 до 1,0 г/л. Питание водоносных горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока из вышележащих отложений, разгрузка в виде родников происходит в бортах речных долин.

Сложные геологические и гидрогеологические условия территории, обусловленные чередованием в разрезе пород различного состава и наличием многочисленных водоносных горизонтов, способствуют возникновению в пределах грунтового массива негативных геодинамических процессов. Анализ картографического материала, подтвержденный маршрутными наблюдениями, позволил выделить четыре основных вида геодинамических проявлений, осложняющих работы по градостроительству. Если провести их ранжировку по времени, то получим следующую последовательность протекания экзогенных деформационных процессов: выветривание → плоскостной смыв → овражная эрозия → оползни. Процессы выветривания развиты практически повсеместно на поверхности купола и склонов

эрозионно-денудационного останца Услонского массива. На купольной части с ними связано формирование толщи элювиальных отложений, на склонах – формирование повышенной трещиноватости. При выветривании выходящих на поверхность карбонатных пород мощность элювиального слоя не превышает 0,5 м. Он представлен преимущественно светло-серым щебнисто-дресвяным материалом. При выветривании мергелей и глин толщина элювиального слоя может достигать до 2,0 м. При этом в нем хорошо прослеживается зональность, обусловленная различной интенсивностью дезинтеграции пород. В подошве залегают щебнистый слой, выше – слой дресвы, цементированный тонкодисперсной глиной, еще выше – слой слабосвязанного рыхлого глинистого грунта. Выветривание песчаников и алевролитов протекает с выносом из пород кальцитового цемента. Это приводит к увеличению пористости и проницаемости обломочных грунтов, потери их прочности, развитию суффозионного выноса тонкодисперсных частиц из порового пространства. В результате выветривания изначально плотные терригенные породы преобразуются в разуплотненные водоносные горизонты. Таким образом, независимо от минерального состава, структурных особенностей и плотности сложения, во всех коренных породах пермского возраста под влиянием гипергенных процессов разрушаются первичные структурные связи, что приводит к потере монолитности грунтов в массиве, повышению их обводненности, ухудшению физико-механических свойств.

Выветрелые породы из верхней части элювиального слоя подвергаются процессам плоскостного смыва. Текучие воды атмосферных осадков подхватывают тонкодисперсный материал и переносят его вниз по склонам. За счет этого из элювия купольной части эрозионно-денудационного останца выносятся минеральные частички глинисто-алевритовой размерности, заполняющие пространство между карбонатной дресвой. Происходит разуплотнение крупнообломочных грунтов, снижается их прочность, увеличивается степень дренированности. Воды атмосферных осадков получают возможность проникать по системам вертикальных трещин в ниже залегающие слои осадочных пород, создавая и пополняя горизонты межпластовых подземных вод в верхней и средней частях грунтового массива. Влекомые временными водными потоками тонкодисперсные минеральные ча-

стицы переносятся в сторону пониженных участков, где они и осаждаются, образуя делювиальные отложения. С одной стороны, делювиальные покровы сглаживают и выравнивают рельеф местности, с другой – образуют толщи глинистых грунтов с худшими строительными свойствами за счет повышенной пористости и слабых структурных связей между минеральными зернами. Делювиальные толщи в большинстве своем подвержены просадочным явлениям, в их подошве часто формируются локальные водоносные горизонты. При благоприятных условиях в делювиальных отложениях могут активизироваться оползневые процессы.

Помимо аккумуляции терригенного материала на склонах активно протекает линейная эрозия, результатом деятельности которой является образование оврагов. Овражная сеть покрывает все склоны останца, образуя глубокие радиальные промоины, отходящие от выположенной вершины в сторону речных долин. Наиболее развитые овраги приурочены к западному склону эрозионно-денудационного останца. Протяженность их тальвегов доходит до 4,0 км, длина боковых отвершков – до 0,5 км, устье выходит в долину реки Свияга. В верхней части овраги представляют собой узкие каньонообразные врезы, в нижней – имеют корытообразный поперечный профиль. На восточном склоне грунтового массива овражная эрозия менее развита. Здесь проходит один основной овраг по направлению с юга на север, протяженностью 5,5 км. По сути, он является границей восточной окраины грунтового массива, отведенного под строительство г. Иннополис. Овраг характеризуется спрямленным тальвегом, перепад высот между вершиной и устьем составляет 127,0 м. По дну оврага протекает ручей Морквашинка, усиливающий донную эрозию. Устье оврага выходит в долину реки Волга. На северном склоне грунтового массива процессы оврагообразования находятся на начальной стадии. Длина промоин не превышает 0,5 км. Преобладает донная эрозия, за счет чего овраги характеризуются наличием крутых боковых стенок и преобладанием V-образного поперечного профиля. Дно оврагов каменистое, без отложений терригенного материала, устья висячие. Пораженность территории градостроительной деятельности составляет около 26%. При планировке отдельных участков строительства овраги частично были засыпаны техногенными грунтами. Однако в настоящее

время по ним вновь развиваются процессы современной овражной эрозии [8].

Склоновые части грунтового массива, помимо овражной эрозии, подвержены и оползневым процессам. Оползни приурочены к участкам выходов на поверхность подземных вод, часто осложняют борта оврагов. Оползневые тела приурочены преимущественно к покровным четвертичным элювиально-делювиальным отложениям, залегающим на коренных породах пермского возраста. Изредка отмечаются сплывы в глинистых грунтах северодвинского яруса. Согласно полевым исследованиям, на территории градостроительства выделяется два типа оползневых деформаций. Наиболее распространены асеквентные и консеквентные оползни с круглоцилиндрической поверхностью скольжения. Тело оползней представлено делювиальными суглинками, обводненными в нижней части, ложем служит наклонная поверхность пород пермского возраста. Оползневые тела осложняют инженерно-геологические условия площадок изыскания, создают предпосылки для активизации склоновых деформаций верхней части грунтового массива при увлажнении. При проектировании инженерных объектов на склонах и возле бортов оврагов следует прогнозировать возможные изменения геологической среды в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

### Заключение

Проведенные полевые исследования площадки градостроительства показали, что грунтовый массив характеризуется неоднородным строением. В его основании залегают скальные грунты средне-верхнепермской системы, с поверхности перекрыты дисперсными грунтами четвертичного возраста. По степени сплошности скальный массив относится к среднетрещиноватому, по преобладанию размеров блоков отдельностей – к крупноглыбовому, в отдельных слоях мергелей и глин – к мелкоглыбовому и щебневому [9]. На всю глубину массив сечется субвертикальными протяженными открытыми трещинами, обуславливающими фильтрацию вод атмосферных осадков. Встречая на пути более плотные породы, инфильтрационные воды формируют водоносные горизонты, которые образуют три водоносных комплекса: водоносный локально водоупорный неогеново-четвертичный терригенный комплекс (N-aQ), слабоводоносный котельничский

карбонатно-терригенный комплекс ( $P_3kt$ ) и слабоводоносный локально водоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс ( $P_2ur$ ). По совокупности геологических и гидрогеологических факторов территория грунтового массива, отведенная под строительство г. Иннополис, имеет III категорию сложности [10]. Это обусловлено, с одной стороны, наличием в зоне взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой более четырех слоев различных по составу и свойствам грунтов, с другой – чередованием в разрезах плотных и водонасыщенных слоев, с третьей – широким распространением негативных геодинамических процессов, оказывающих влияние на выбор проектных решений при строительстве.

#### Список литературы

1. Бабюх В.А., Кайсарова Ж.Е. Понятие «город» и типологизация городов: проблемы соотношения при определении даты возникновения городских поселений // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 20. С. 417–422.
2. Коломак Е.А. Почему возникают и растут города? Объяснения теоретических и эмпирических исследований // Пространственная экономика. 2018. № 2. С. 134–153.
3. Ишкинеева Ф.Ф., Озерова К.А., Ишкинеева Г.Ф. Образ «умного города» Иннополис: концепты и повседневность // Вестник Института социологии. 2021. Т. 12, № 2. С. 143–157.
4. Шеина С.Г., Белаш В.В., Каменцев В.Ю., Мазин П.О., Ларин Н.С. Особенности инженерно-геологических изысканий для строительства в условиях плотной городской застройки // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. [Электронный ресурс]. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7580](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7580) (дата обращения: 30.12.2024).
5. Леонтович В.В. Вертикальная планировка городских территорий: учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Городское строительство». М.: Высш. шк., 1985. 119 с.
6. Латыпов А.И., Жаркова Н.И. Оценка оползневой опасности на территории строящегося города Иннополис (Татарстан) для организации системы геодинамического мониторинга // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11. С. 56–59.
7. Государственная гидрогеологическая карта России масштаба 1:200000. Средневолжская серия. Сводная легенда / Под ред. Р.К. Шахновой. Дзержинск, 1993.
8. Салихова Э.Н., Королёв А.Э., Королёв Э.А. Современная овражная эрозия в насыпных грунтах строящегося города Иннополис // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь, ПГНИУ, 13–14 апреля 2023 г.) / Отв. ред. Н.В. Кулакова. Пермь, 2023. С. 369–373.
9. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. М., 2020. 41 с.
10. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. 112 с.