

УДК 624.131

УЧЕБНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ОПЫТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Татьяна Ивановна Аверкина^{1✉}, Наталья Витальевна Правикова²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; averkinati@yandex.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; npravikova@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена учебная геоинформационная система «Мировой опыт изысканий и строительства в различных инженерно-геологических условиях». Цель ее создания — собрать и изучить максимально разнообразный опыт изысканий для разных типов инженерных сооружений в разных природных условиях и странах. База данных ГИС содержит 46 слоев, объединенных в четыре блока: 1) базовые слои; 2) карты геологического содержания; 3) карта инженерно-геологических структур Земли; 4) фактический материал по инженерно-геологическим изысканиям и особенностям строительства конкретных сооружений. Описано содержание атрибутивных таблиц, приведен классификатор объектов для слоев «Точечные инженерные сооружения» и «Линейные инженерные сооружения».

Ключевые слова: геоинформационная система (ГИС), карта, инженерно-геологические изыскания, инженерно-геологические условия, инженерные сооружения, строительство, классификатор объектов

Для цитирования: Аверкина Т.И., Правикова Н.В. Учебная геоинформационная система для анализа опыта инженерно-геологических изысканий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 137–144.

EDUCATIONAL GEOINFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING THE EXPERIENCE OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL SURVEYS

Tatiana I. Averkina^{1✉}, Natalia V. Pravikova²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; averkinati@yandex.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; npravikova@mail.ru

Abstract. Educational geoinformation system “World experience of site investigation and construction under different engineering-geological conditions” is considered. The purpose of its compilation is to collect and study the most diverse experience of surveys: for different types of engineering structures, in different natural conditions and countries. GIS database contains 46 layers divided into four blocks: 1) base layers; 2) geological maps; 3) Map of engineering-geological structures of the Earth; 4) actual data on engineering-geological surveys and special features of the construction. Attribute tables are described, object classifier of the layers “Engineering-points” and “Engineering-lines” is given.

Key words: geoinformation system (GIS), map, site investigation, engineering-geological conditions, engineering structure, construction, object classifier

For citation: Averkina T.I., Pravikova N.V. Educational geoinformation system for analyzing the experience of engineering and geological survey. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 5; 137–144. (In Russ.).

Введение. В инженерной геологии к настоящему времени накоплен большой опыт изысканий под различные инженерные сооружения в разных инженерно-геологических условиях. С этим опытом полезно знакомиться профессионалам, но особенно важно изучать в ходе подготовки будущих специалистов. Объем накопленных материалов постоянно увеличивается, и для его хранения, изучения, обработки, сравнения и обобщения широко используются ГИС-технологии. В базы данных ГИС включают самую разную информацию: сведения о различных инженерных сооружениях, отдельных компонентах природных условий (рельефе, породах, подземных водах, геологических процессах и т. д.), комплексную информацию о инженерно-геологических условиях строительства. Размер территории, которую охватывают ГИС, тоже очень разный — от отдельного массива до города, региона, страны [Антипов и др.,

2012; Alparslan et al., 2008; Dai et al., 2001; Entwisle et al., 2016; Foster et al., 2011; Self et al., 2012].

На кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова создана учебная ГИС «Мировой опыт изысканий и строительства в различных инженерно-геологических условиях». Главная цель ее составления — собрать и изучить сведения о максимально разнообразном опыте изысканий для разных инженерных сооружений (зданий, туннелей, плотин, мостов, дорог и т. д.) в разных природных условиях (в горах и на равнинах, на суше и на море), в разных странах и на разных континентах. На базе информации, содержащейся в ГИС, составлен комплекс учебных заданий.

ГИС-проект изначально оформлялся в программе ArcMap 9.3. и включал немного более 20 слоев информации [Averkina et al., 2014; Аверкина, Пра-

викова, 2014]. Сейчас используется более современная версия ArcMap, и база данных содержит уже 46 слоев, объединенных в четыре крупных блока: 1) базовые слои; 2) карты геологического содержания; 3) карта инженерно-геологических структур Земли; 4) фактический материал о инженерно-геологических изысканиях и особенностях строительства конкретных сооружений.

Базовые слои. В базовые слои входят географические карты, представляющие собой слои топографической основы: *Континенты, Океаны, Страны, Реки, Озера, Города*. Данные отображены в проекции WorldRobinson. Для пользователей, зарегистрированных на портале kosmosnimki.ru, возможна подгрузка базового покрытия мозаики космических снимков земного шара.

Карты геологического содержания. Карты геологического содержания охватывают территорию всего земного шара или территорию России. Включают: 1) слой *Геологическая карта мира* (1982); 2) папку *Геологическая карта России и прилегающих акваторий* (2012) на 16 листах, каждый из которых представлен отдельным слоем; 3) слой *Карта четвертичных отложений территории Российской Федерации* (2014). Все перечисленные карты добавлены в растровом формате.

Карты России выполнены в конической равнопромежуточной проекции и в ГИС координатно привязаны именно к ней. При совмещении этих карт с другими картами ГИС их необходимо перевести в проекцию Robinson.

Карта инженерно-геологических структур Земли. Третий информационный блок ГИС — Карта инженерно-геологических структур Земли (в векторном виде). По существу, это карта типологического инженерно-геологического районирования, где в качестве таксонов районирования выступают инженерно-геологические структуры четырех иерархических уровней: инженерно-геологические суперструктуры, мегаструктуры, макроструктуры и мезоструктуры. На первом уровне районирования вся территория земного шара делится на различные инженерно-геологические суперструктуры, на втором уровне суперструктуры делятся на мегаструктуры, на третьем — мегаструктуры делятся на макроструктуры, на четвертом — макроструктуры подразделяются на мезоструктуры.

Под **инженерно-геологическими структурами** понимают закономерные организованные части литосферы, сформированные под влиянием определенных региональных и зональных геологических факторов и однородные по каким-либо инженерно-геологическим параметрам [Trofimov, Averkina, 1996]. Изменяя сочетание региональных и зональных факторов (следовательно, и соответствующие им инженерно-геологические параметры), переходя от общих к частным, можно обособлять инженерно-геологические структуры разного содержания и разных иерархических уровней. При этом в качестве

классификационного признака будет выступать сложное (двучленное) основание деления.

Ограничиваемые по системе региональных геологических признаков части геологического пространства — это *неотектонические структуры* разных порядков (в нашем случае — четырех). По зональным геологическим признакам выделяются структуры *геологические климатогенные* тоже четырех порядков. *Геологическая климатогенная структура* — это часть литосферы, которая сложена породами одного состояния и сформирована в условиях определенной теплообеспеченности и увлажненности [Trofimov, Averkina, 1996]. Например, структуры с распространением многолетнемерзлых пород и структуры с распространением немерзлых пород или структуры с распространением сильноувлажненных пород и структуры с распространением слабоувлажненных пород. Собственно инженерно-геологические структуры обособляются при наложении или пересечении неотектонических и геологических климатогенных структур. Другими словами, каждая инженерно-геологическая структура как определенный объем геологического пространства, с одной стороны, относится к какой-либо неотектонической структуре (части структуры), с другой — к геологической климатогенной структуре (части структуры) того же порядка. Выделяются таксоны четырех порядков (или уровней): инженерно-геологические суперструктуры, инженерно-геологические мегаструктуры, инженерно-геологические макроструктуры и инженерно-геологические мезоструктуры.

Самые крупные таксоны — инженерно-геологические суперструктуры — обособляются как пересечения неотектонических и геологических климатогенных структур 1-го порядка. Каждая инженерно-геологическая суперструктура делится на инженерно-геологические мегаструктуры, которые образуются как пересечения неотектонических и геологических климатогенных структур 2-го порядка и т. д. (рис. 1).

На карте тектонические структуры показаны цветом, а геологические климатогенные — цветной штриховкой, следовательно, инженерно-геологические структуры обозначаются сочетанием цвета и штриховки.

Инженерно-геологическая суперструктура — часть литосферы, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом глубинного строения земной коры и водно-воздушными условиями поверхностной среды. Например, континентальная субаэральная или континентальная субаквальная инженерно-геологическая суперструктура.

Инженерно-геологическая мегаструктура — часть инженерно-геологической суперструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом строения современного мегарельефа и особенностями фазового

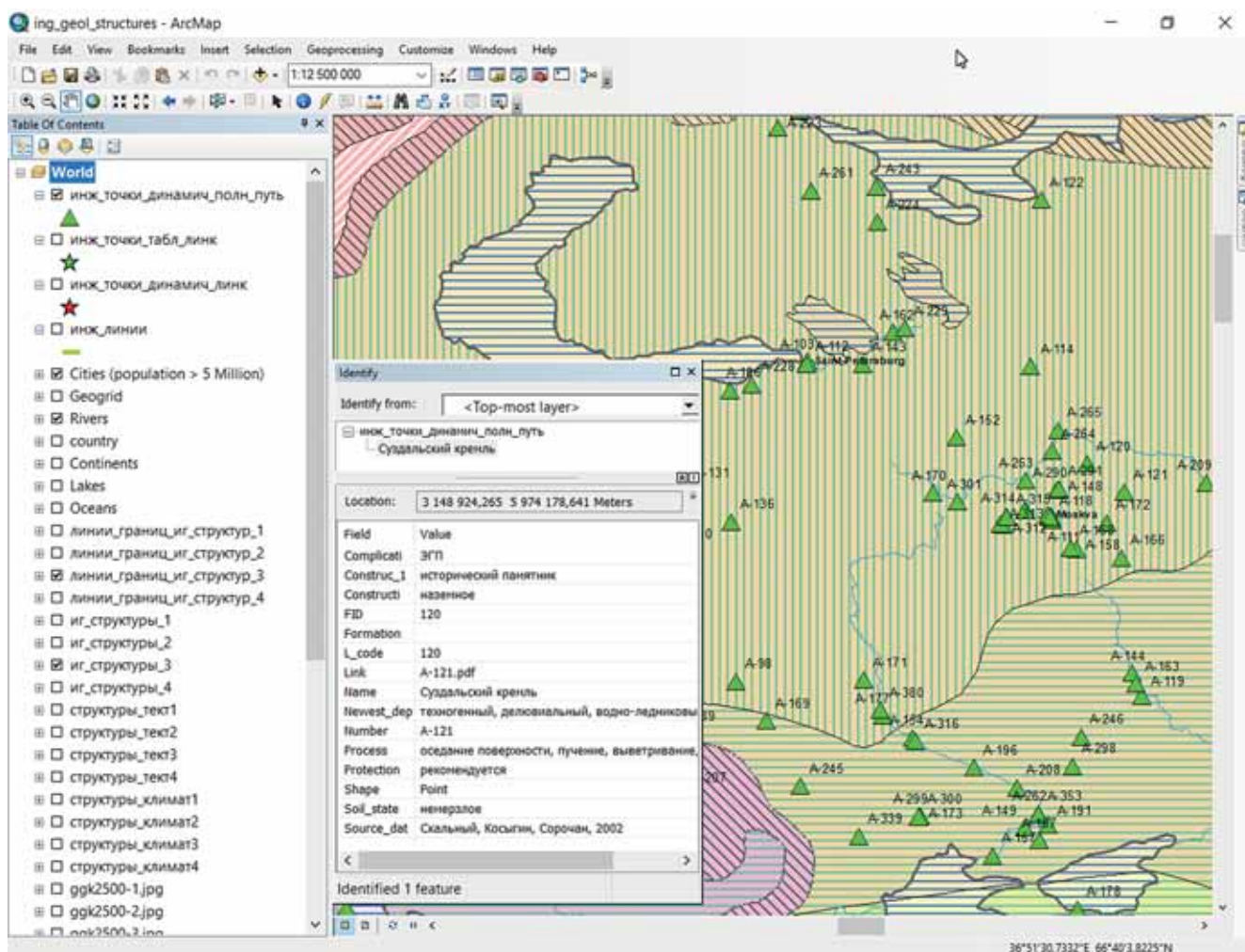


Рис. 2. Общий вид слоя «Точечные инженерные сооружения»

ся при решении некоторых задач. Слои 9–12 представляют собой карты неотектонических структур четырех порядков (или иерархических уровней), а слои 13–16 — карты геологических климатогенных структур четырех иерархических уровней.

Фактические материалы инженерно-геологических изысканий. В четвертом информационном блоке ГИС содержатся фактические материалы изысканий, выполненных под конкретные инженерные сооружения в период с 1960-х гг. до наших дней. Именно в этом блоке сосредоточена информация об опыте изысканий и особенностях строительства в различных инженерно-геологических условиях. Важно отметить, что при сборе информации предпочтение отдавалось тем объектам, на которых возникали проблемы и осложнения (иногда аварии) при изысканиях и строительстве. Такие знания особенно важны для будущих специалистов. К настоящему времени база данных включает сведения более чем о 800 различных инженерных объектах (зданиях, в том числе исторических и архитектурных памятниках, плотинах, водохранилищах, тоннелях, мостах, атомных электростанциях, карьерах, шахтах, хранилищах и пр.).

Главный источник фактических данных — публикации в научных и технических журналах (русских и зарубежных). Часть информации удалось получить из монографий, в которых описаны (а часто и проиллюстрированы) условия строительства конкретных инженерных сооружений, выполнен разбор произошедших аварий и анализ их причин. Например, подобные сведения есть в работе [Anderson, Trigg, 1976], в сборнике [Отказы в геотехнике, 1995] и др.

Еще один источник информации — архивные материалы кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, посвященные инженерно-геологическим исследованиям на крупных инженерных объектах.

Фактический материал о инженерных сооружениях отображен в двух слоях — точечных и линейных инженерных сооружений.

Слой точечных инженерных сооружений — слой точечных объектов, где собраны инженерные сооружения, которые в базовом масштабе карты могут быть отображены точками (рис. 2). Точки координатно привязаны, пространственная при-

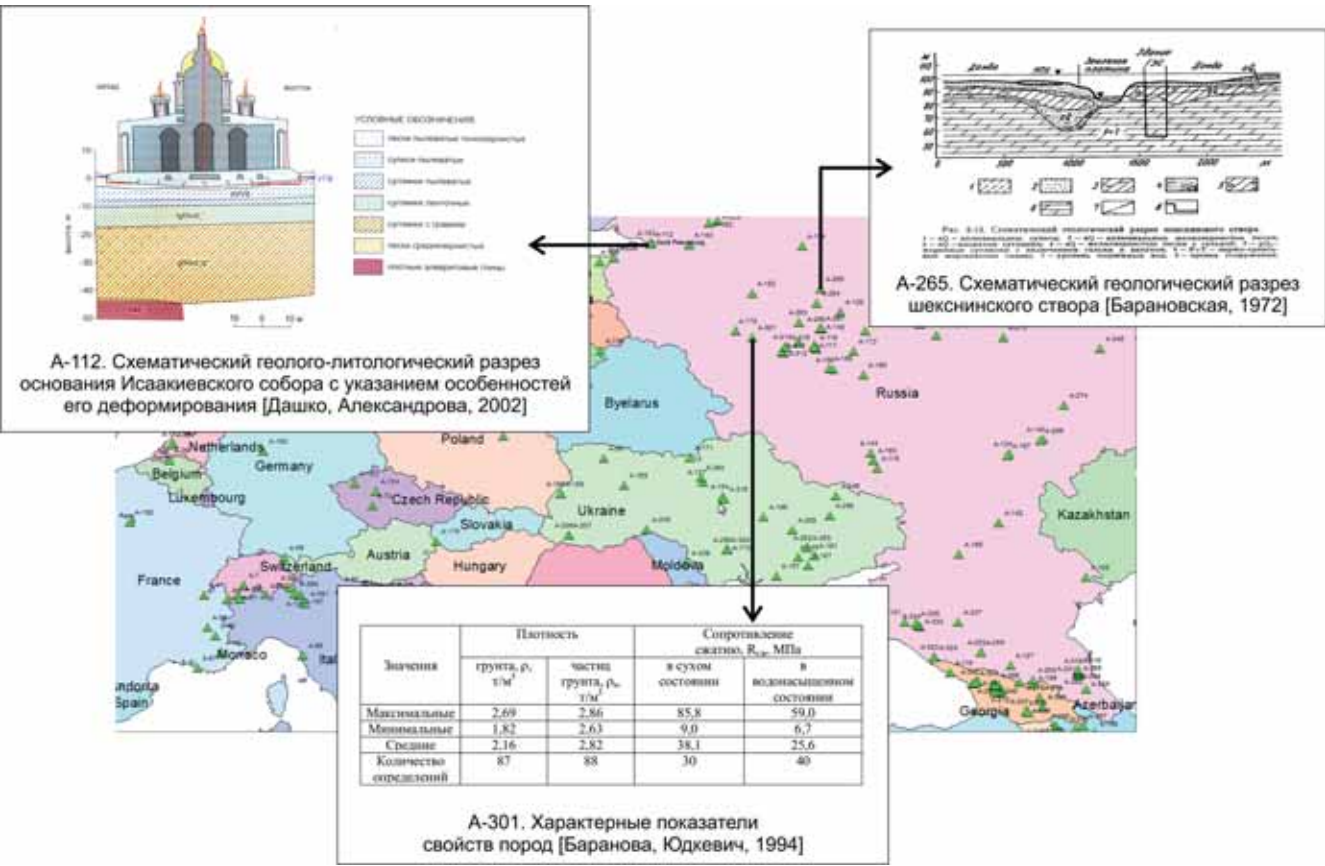


Рис. 3. Просмотр дополнительных файлов с помощью инструмента «Гиперссылка»

вязка проводилась по мозаике космических снимков, представленных на портале GoogleEarth, на которых рассматриваемые объекты хорошо различимы.

Слой линейных инженерных сооружений — слой инженерных объектов, которые в базовом масштабе карты выражаются линией, это протяженные магистральные каналы, трубопроводы, железные и автомобильные дороги. Линии также координатно привязаны, привязка проводилась по космическим снимкам и картам.

Для всех инженерных объектов собран фактический материал. На его основе каждому точечному и линейному объекту прописана атрибутивная информация. Для слоев точечных и линейных сооружений атрибутивная таблица имеет один и тот же вид и содержит следующие 12 полей: *Number* — номер объекта; *L_code* — уникальный номер типа сооружения (по классификатору); *Construction_class* — класс сооружения (по классификатору); *Construction_type* — тип сооружения (по классификатору); *Name* — собственное имя объекта (если есть), например, Исаакиевский собор, Панамский канал; *Formation* — формация (или формации) дочетвертичных пород, залегающая в основании сооружения (по классификатору); *Newest_deposits* — генетический комплекс (или комплексы) новейших отложений, залегающий в основании сооружения (по классификатору); *Soil_state* — состояние грунтов основания сооружения (по классификатору);

Process — геологические процессы и явления в пределах площадки изысканий, если они есть (по классификатору); *Complication* — фактор (факторы), вызвавший наибольшие осложнения, если есть (по классификатору); *Protection* — инженерная защита (по классификатору); *Source data* — источник данных.

Классификатор объектов для слоев точечных и линейных сооружений приведен в таблице. К каждому объекту, помимо атрибутивных данных, привязан набор *дополнительных файлов*, которые содержат текстовую и графическую (разрезы и карты) информацию. Возможно также добавление ссылки на сайт в интернете. В текстовых файлах содержатся следующие сведения: источник информации; местоположение инженерного объекта, его конструктивные особенности (в том числе обусловленные спецификой природных условий); виды выполненных инженерно-геологических работ; инженерно-геологические условия участка; осложняющие строительство природные факторы и способы их преодоления; мероприятия по инженерной защите (если она проводилась); в некоторых случаях разбор аварий и анализ их причин. Графические материалы, как правило, представляют собой инженерно-геологические разрезы площадок строительства, иногда некоторые поясняющие схемы, реже детальные карты района строительства. Вызов и просмотр дополнительных файлов осуществляется с помощью инструмента *Гиперссылка* (рис. 3).

Классификатор объектов для слоев «Точечные инженерные сооружения» и «Линейные инженерные сооружения»

Construction_class	L_code	Construction_type	Formation	Newest_deposits	Soil_state	Process	Complication	Protection
наземное	110	здание	терригенная	морской	немерз- лое	оползни	поверхностные воды	нет
	115	комплекс зданий	терригенная угленосная	озерный	мерзлое	осыпи	грунты	есть
	120	исторический памятник	терригенно- карбонатная	аллювиальный	мерзлое и талое	обвалы	подземные воды	рекомен- дуется
	125	АЭС	карбонатная	озерно-аллюви- альный		сели	тектонические нарушения	
	130	ГЭС	соленосная	ледниковый		лавины	сейсмичность	
	135	ГАЭС	молассовая	водно-ледни- ковый		речная эро- зия	ЭГП	
	140	мелиоративная система	флишевая	озерно-ледни- ковый		овражная эрозия	горное давле- ние	
	142	водохранилище	метаморфиче- ская	ледово-морской		абразия	погребенная долина	
	143	дамба	вулканогенно- осадочная	элювиальный		переработка берегов водо- хранилищ	геокриологи- ческие особен- ности	
	145	канал	вулканогенная	эоловый		карст	выбросы газа	
	150	железная дорога	интрузивная	субаэральный		заболачива- ние		
	155	автодорога		коллювиальный		засоление		
	160	трубопровод		пролювиаль- ный		просадки в лессах		
	165	ЛЭП		болотный		термоэрозия		
	170	аэропорт		техногенный		термоабразия		
	175	карьер				пучение		
	180	отвал				термокарст		
	185	хвостохрани- лище				наледь		
	190	ПБО				курумы		
подземное	210	здание				солифлюкция		
	220	шахта				морозобой- ное растре- скивание		
	230	скважина				провалы		
	240	тоннель				плывуны		
	250	метро				оседание		
	255	ГЭС				поверхности		
	260	трубопровод				подтопление		
	270	хранилище						
надводное	310	здание						
	320	мост						
	330	акведук						
	340	трубопровод						
	350	портовое сооружение						
	360	буровая платформа						
подводное	410	трубопровод						
	420	хранилище						

Использование ГИС. Опыт изысканий в рамках ГИС можно изучать на примере различных инженерных объектов, построенных в разных странах и в различных инженерно-геологических условиях. Информация об условиях строительства того или иного сооружения, которая содержится в слоях *Точечные инженерные сооружения* и *Линейные инженерные сооружения*, – локальные данные. Их можно рассмотреть в более широком пространственном аспекте, если наложить на другие слои ГИС. Это помогает делать различные обобщения и выявлять закономерности.

Приведем несколько примеров учебных заданий, которые можно выполнять при работе с ГИС:

1) определить, какие инженерно-геологические факторы обычно осложняют строительство железных дорог в ороенах с распространением многолетнемерзлых пород;

2) определить, какие мероприятия по инженерной защите исторических зданий от подтопления наиболее эффективны в пределах молодых платформ с распространением слабоувлажненных пород;

3) сравнить методы инженерной защиты объектов от оползней на морских побережьях в Китае и России;

4) какие инженерно-геологические факторы осложняют строительство туннелей в Восточной Африке;

5) сравнить опыт изысканий и строительства туннелей в карбонатных породах в разных странах;

6) как изменились в течение последних 50 лет методы инженерной защиты портовых сооружений от абразии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аверкина Т.И., Правикова Н.В. О создании ГИС «Мировой опыт изысканий и строительства в пределах различных типов инженерно-геологических структур» // Инженерная геология. 2014. № 2. С. 64–68.

Аверкина Т.И., Правикова Н.В. Руководство для пользователей ГИС «Мировой опыт изысканий и строительства в различных инженерно-геологических условиях». М.: СамПринт, 2019. 59 с.

Антипов А.В., Майоров С.Г., Бударин В.Ю. и др. Система инженерно-геологического обоснования градостроительного проектирования при освоении подземного пространства города Москвы на основе применения ГИС-технологий // Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста / Гл. ред. А.В. Антипов., В.И. Осипов. М.: Проспект, 2012. С. 206–228.

Баранова Т.Е., Юкевич А.И. Плотина Зубцовского гидроузла на р. Вазузе // Геология и плотины. Т. 13. М.: Энергоатомиздат, 1994. С. 151–169.

Барановская Е.И. Иваньковская, Угличская и Рыбинская плотины на р. Волге // Геология и плотины. Т. 6. М.: Энергия, 1972. С. 33–54.

Геологическая карта мира. М.: ГУГК, 1982.

Геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1:2 500 000, 2012 г. URL: http://vsegei.ru/ru/info/georesource/sv_maps.php (дата обращения: 10.05.2015).

Отдельный комплекс учебных задач связан с нахождением объектов-аналогов.

При выполнении заданий собранные в ГИС материалы можно компоновать разными способами в зависимости от поставленной задачи [Аверкина, Правикова, 2019]. Возможны и разные варианты создания выходной продукции на основе обработки или анализа данных. Например, обобщения можно выполнять с разной степенью детальности: 1) на основе атрибутивных данных; 2) на основе информации, изложенной в дополнительных файлах.

Заключение. В настоящее время почти каждая инженерно-геологическая организация имеет свою геоинформационную систему, которая содержит полную и детальную информацию об изучаемых объектах. Описанная в статье ГИС включает в основном краткие опубликованные данные, но при этом охватывает очень разнообразные инженерные сооружения и инженерно-геологические условия, опыт разных стран. Кроме того, в ней собран не только позитивный, но и негативный опыт, а такие знания для будущих специалистов особенно полезны. ГИС-технология позволяет быстро отбирать нужные данные, по-разному их компоновать, совмещать различные слои информации и т. д. Значительно упрощается процесс нахождения связей между различными факторами, а также определение главных и второстепенных факторов. ГИС-формат — оптимальная среда изучения опыта инженерно-геологических изысканий.

Благодарности. Работа выполнена с использованием материалов ЦКП «Геопортал» МГУ имени М.В. Ломоносова.

Дашко Р.Э., Александрова О.Ю. Инженерно-геологический и геоэкологический анализ причин деформаций Исаакиевского собора // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2002. № 5. С. 57–65.

Карта четвертичных отложений территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000, 2014 г. URL: <http://geo.historic.ru/geographic-atlas/map008.shtml> (дата обращения: 10.05.2015).

Отказы в геотехнике / Гл. ред. Э.И. Мулюков. Уфа: БашНИИСтрой, 1995. 186 с.

Alparslan E., Ince F., Erkan B. et al. A GIS model for settlement suitability regarding disaster mitigation, a case study in Bolu Turkey // Engineering Geol. 2008. Vol. 96, Iss. 3–4. P. 126–140.

Anderson J.G.C., Trigg C.F. Case-Histories in Engineering Geology. London: Elek Science. 1976.

Averkina T., Pravikova N., Kosevich N. Educational GIS-project World experience in site investigation and construction under different engineering-geological conditions // Proceed. of XII IAEG Congress Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 7. Springer International Publ. Switzerland, 2014. P. 26–29.

Averkina T.I., Trofimov V.T. Types of engineering-geological structures of Russia // Moscow University Geol. Bull. 2016. Vol. 71, N 6. P. 373–384.

Dai F.C., Lee C.F., Zhang X.H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study // *Engineering Geol.* 2001. Vol. 61, Iss. 4. P. 257–271. URL: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00028-X)

Entwisle D.C., Culshaw M.G., Hulbert A.G. et al. The Glasgow (Scotland) geotechnical GIS: a desk study tool // *Developments in engineering geology*. L., UK, Geol. Soc. of London. Engineering Geol. Spec. Publ. 2016. Vol. 27. P. 63–80. URL: <https://doi.org/10.1144/EGSP27.6>

Foster C., Pennington C.V.L., Culshaw M.G., Lawrie K. The national landslide database of Great Britain: development,

evolution and applications // *Environ Earth Sci.* 2011. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1304-5>

Self S., Entwisle D., Northmore K. The structure and operation of the BGS National Geotechnical Properties Database. Ver. 2. Nottingham, UK, British Geol. Surv. 2012. 68 p. URL: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/20815>

Trofimov V.T., Averkina T.I. Engineering-geological structures: hierarchy, types, and paragenetic series // *Moscow University Geol. Bull.* 1996. Vol. 51, N. 3. P. 11–20.

Статья поступила в редакцию 25.11.2021,
одобрена после рецензирования 08.06.2022,
принята к публикации 22.11.2022