

**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**



Материалы Международного симпозиума

**“ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ”**

Екатеринбург, Россия

30 июля – 2 августа 2001 года



“EngGeolCity-2001”

I



Спонсор издания: Научно-производственный центр «КАРСТ»

Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий / Материалы Международного симпозиума. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001 г. – 2 тома. – 792 стр.

ISBN 5-94544-002-7

Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» включают труды ученых и специалистов из России и стран СНГ, освещают вопросы по семи темам симпозиума. Издан компакт-диск с материалами симпозиума на английском языке, включающий также труды ученых и специалистов зарубежных стран. Публикация материалов осуществлена в редакции авторов.

Редакционная коллегия: В.И. Осипов (главный редактор), Н.А. Румянцева (зам. главного редактора), В.В. Баулин, В.И. Бондарев, О.Н. Грязнов, В.Г. Зотеев, С.Е. Лукина, Б.Н. Мельников, В.В. Лушников, И.А. Парабучев, А.Л. Рагозин, Л.И. Рыбникова, В.М. Слукин, И.С. Шахов

ТОМ I

- Тема 1. Инженерная геология и рациональное использование урбанизированных территорий
- Тема 2. Инженерно-геологические и инженерно-геоэкологические изыскания на урбанизированных территориях
- Тема 3. Природные опасности и устойчивость городских территорий

ТОМ II

- Тема 4. Техногенные изменения геологической среды урбанизированных территорий
- Тема 5. Использование подземного пространства города
- Тема 6. Методы защиты памятников истории, архитектуры и культуры
- Тема 7. Геоинформационные системы (ГИС) геологической среды урбанизированных территорий

ISBN 5-94544-002-7

© ЗАО «УралГИСИЗ», 2001

ГЕОДИНАМИКА СУЛЬФАТНОГО КАРСТА ОКСКО-ВОЛЖСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Нещеткин О.Б., Сафронова А.А., Ильин А.Н.

НПЦ «КАРСТ», г. Дзержинск Нижегородской области, Россия

Комплекс геологических, гидрогеологических и карстологических данных позволяют выделить четыре эпохи развития карста.

Первая эпоха охватывала артинский, кунгурский и уфимский века, а вторая – приурочена к позднеказанскому времени. В результате эрозии в эти эпохи в центральной части Окско-Волжского междуречья сформировалась широкая полоса закарстованных пород. Третья эпоха охватывала мезозой-неоген и сопровождалась интенсивным врезом рек, заложением долины пра-реки, наследуемой в дальнейшем современными реками – Волгой и Окой. Карст активно развивался с формированием крупных карстовых котловин.

Четвертая эпоха развития карста соответствует четвертичному периоду и включает несколько этапов. Карст развит на обширных территориях и наиболее активен на участках, где имеет унаследованный характер.

Введение

Окско-Волжское междуречье является промышленным районом. Широкое развитие карста является не только примечательной геоморфологической особенностью, но и одной из главных инженерно-геологических проблем. Практически все строительство промышленных и гражданских сооружений сопровождалось специальной карстологической экспертизой. Однако это не предотвратило поражения некоторых промышленных сооружений и железной дороги карстовыми провалами.

Цель настоящей работы – показать карст как геологический процесс преобразования растворимых пород, протекающий в несколько эпох, отразить динамику развития и унаследованность карста во времени на основе известных и оригинальных данных.

Геологическое строение района

В геоморфологическом плане Окско-Волжское междуречье представляет собой долину шириной 53–54 км. В ней выделяются пойма, надпойменные террасы I, II, III и IV, V, VI, VII, VIII (погребенные). Дочетвертичные отложения междуречья Оки и Волги, затронутые карстовым процессом, представлены породами сакмарского, казанского и татарского ярусов пермской системы.

Нижняя часть сакмарского яруса сложена в основном доломитами, чередующимися с прослоями гипсов и ангидритов. Верхняя часть представлена гипсами, ангидритами, включающими прослой доломитов. Кровля яруса почти повсеместно сложена гипсами мощностью 8–24,5 м.

Поверхность сакмарской толщи в значительной степени эродирована. На участках максимальных мезозойских и кайнозойских эрозий гипсы слагают дочетвертичную поверхность.

Казанский ярус представлен нижним подъярусом и сложен доломитами и известняками, с редкими прослоями мергелей, глины, алевролитов, гипсов. В центральной части междуречья казанские породы частично или полностью уничтожены эрозией и карстом. Разрушенные отложения представлены щебнем, дресвой, карбонатной мукой, среди них встречаются останцы слабо разрушенных карбонатных пород. Мощность пород составляет 0–27 м.

На размытой поверхности казанских и, участками, сакмарских пород залегают отложения татарского яруса. Это алевролиты, глины, аргиллиты, иногда с линзами и прослоями гипсов, известняков, мергелей, песчаников. Мощность отложений изменяется от нуля (в эрозионных размывах) до 20–30 м, увеличиваясь с погружением толщи в северном направлении.

На севере района развиты песчаники, глины, алевролиты триаса.

Общее геологическое строение, распространение и соотношение аллювиальных и водно-ледниковых комплексов отражено на схематической карте и геологическом разрезе (рисунок). Возраст, литологический состав и мощность четвертичных отложений приведены в таблице.

Территория междуречья Оки и Волги располагается в пределах северной части Токмовского свода, который северо-западнее района исследований смыкается с Московской синеклизой. В локальном плане район исследований приурочен к линейной системе Алатырско-Горьковских поднятий, вытянутых в северо-восточном направлении, и прорезанных долинами Оки и Волги.

Характеристика гидрогеологических условий района

В соответствии с геологическим строением в междуречье Оки и Волги выделяются три основных горизонта подземных вод.

Грунтовые воды в четвертичных песках представляют собой мощный горизонт – от 78 м до 125 м. На участках размыва татарских пород грунтовые воды гидравлически связаны с трещинно-карстовыми водами.

Трещиноватые карбонатные породы содержат напорные воды, пьезометрический уровень которых на 2–3 м ниже зеркала грунтовых вод.

Толща монолитных гипсов и ангидритов в основном безводна. Однако в верхней части сульфатной толщи эродированные и закарстованные гипсы содержат трещинно-карстовые воды. Минерализация трещинно-карстовых вод составляет в 0,9–2,7 г/л, по химическому составу воды сульфатно-кальциевые. На участках с повышенным содержанием NaCl в сульфатных породах и в зонах разгрузки вод более глубоких горизонтов воды приобретают хлоридно-сульфатный натриево-кальциевый состав и минерализацию до 3,8–4,8 г/л.

Трещинно-карстовые воды имеют напорный характер с разнообразным соотношением их пьезометрических уровней с уровнем грунтовых вод.

Карстовые явления

В Окско-Волжском междуречье карстуются карбонатные и сульфатные породы. К простым видам подземных карстовых форм относятся полости, зоны разрушенных пород. Всего выделено 11 видов простых подземных карстопроявлений, образующих 76 основных сочетаний (Нещеткин, 1994).

Таблица. Основные формации, возраст и состав пород района исследований

<p><i>Формация: тип, генезис</i></p> <p>Комплексы пород: возраст и генезис (геологический индекс)</p>	<p>Состав пород</p>	<p>Тип террасы, мощность, м</p>
<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
<p>Четвертичная внеледниковая Континентальный Голоценовый аллювиальный комплекс (aQ_{IV}) Позднеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_{III} ms+os) Позднеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_{III} mk+k) Среднеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_{II} od+ms) Среднеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_{II} dr, aQ_{II} kr, dz) Раннеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_I sr) Раннеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_I zm) Раннеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_I cr) Раннеплейстоценовый аллювиальный комплекс (aQ_I rs)</p>	<p>Пески, суглинки, реже глины Пески с гравием, суглинки Пески с глинами, суглинками, торф Пески с частыми прослоями глин Пески с гравием, глинами, суглинками Пески с гравием, в подошве с глыбами коренных пород Пески с прослоями глин Пески Пески</p>	<p>Пойма, 8–27 I н.тер., 10–28 II н.тер., 8–35 III н.тер. (верх.ч.), 1–18,5 IV н.тер., 9–41 V н.тер., 5–18(57,8) VI н.тер., 27–49 VII н.тер., 7–33 VIII н.тер., 10–27</p>
<p>Формация днепровского оледенения Континентальный Среднеплейстоценовый аллювиально-флювиогляциальный комплекс (afQ_{II} d) Среднеплейстоценовый водноледниковый флювиогляциальный и моренный комплекс днепровского горизонта (f, gQ_{II} d)</p>	<p>Пески с гравием и галькой Пески, суглинки</p>	<p>III н.тер. (ниж.ч.) 3–24,5 12–42</p>
<p>Терригенная Континентальный Раннетриасовый аллювиально-озерный комплекс (T₁)</p>	<p>Глины, алевролиты, пески, песчаники</p>	<p>0–61</p>
<p>Терригенная красноцветная Континентальный Позднепермский аллювиально-озерный комплекс татарского яруса (P₂ t)</p>	<p>Глины, алевролиты, мергели, прослой гипса и песчаника</p>	<p>0–19</p>

Продолжение табл.

1	2	3
<p>Терригенно-гипсовая Континентальный и озерно-морской Позднепермский озерно-морской и аллювиальный комплекс (P_2t)</p>	Глины, алевролиты, песчаники, мергели с прослоями и линзами гипсов, известняка	0–47
<p>Терригенная красноцветная Континентальный Позднепермский аллювиально-озерный комплекс (P_2t)</p>	Глины, алевролиты, песчаники с гипсом, песком	0–19 и более
<p>Карбонатная Морской Позднепермский морской комплекс отложений казанского яруса нижнего подъяруса (P_2kz_1)</p>	Известняки, редкие прослои мергелей, глины, алевролиты, гипсы, доломиты	0–27
<p>Галогенно-карбонатная форма Гипсово-ангидритовая субформа Лагунно-морской Раннепермский лагунно-морской комплекс стерлитамакского горизонта сакмарского яруса (P_1st)</p>	Гипсы, ангидриты, с редкими прослоями доломитов	50–101
<p>Гипсово-доломитовая субформа Морской Раннепермский морской и лагунно-морской комплекс тастубского горизонта сакмарского яруса (P_1ts)</p>	Переслаивание доломитов с гипсами, прослои известняков	17–48

Особый тип сложных подземных карстовых форм – погребенные карстовые депрессии, выраженные на дочетвертичной поверхности. Размеры крупнейшей из них составляют 4,5×3,2 км, а ее дно глубже дна раннечетвертичной долины на 60 м. Погребенные депрессии меньшего размера, котловины и карстовые воронки зафиксированы по всей территории. Заполнитель депрессий имеет сложный состав и строение, указывающее на неоднократные разновременные деформации.

Поверхностные карстопроявления представлены котловинами, воронками с диаметрами до 50 м и глубинами до 6, реже 10–13 м, локальными оседаниями с диаметрами до 100 м и оседаниями с размерами в несколько сот метров и более и неравномерными скоростями оседания от нескольких миллиметров до сантиметров в год. Нередко карстовые воронки сливаются в карстовые котловины лопастной формы, размеры которых достигают в поперечнике 300–500 м и глубины 4–7,5 м (Сафронова, 1977).

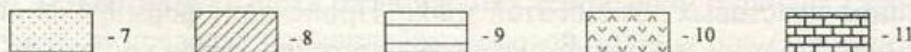
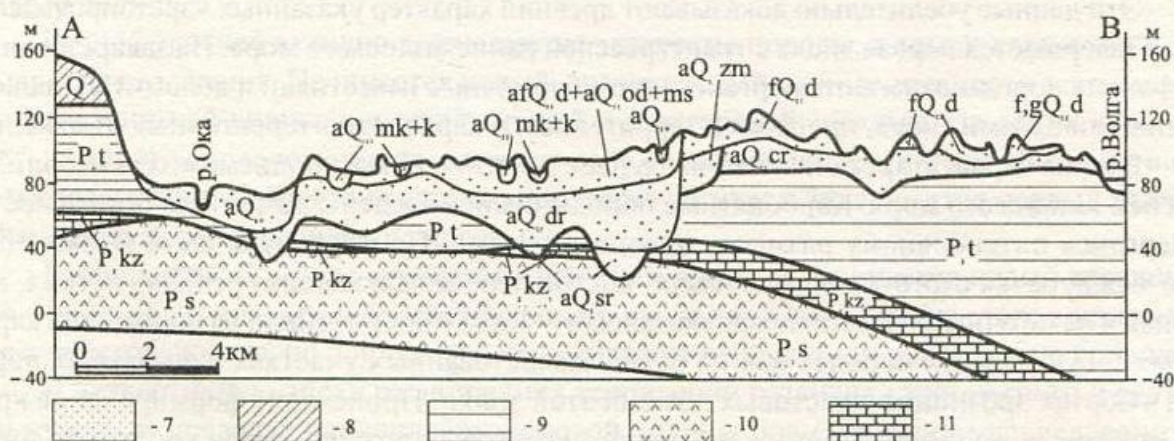
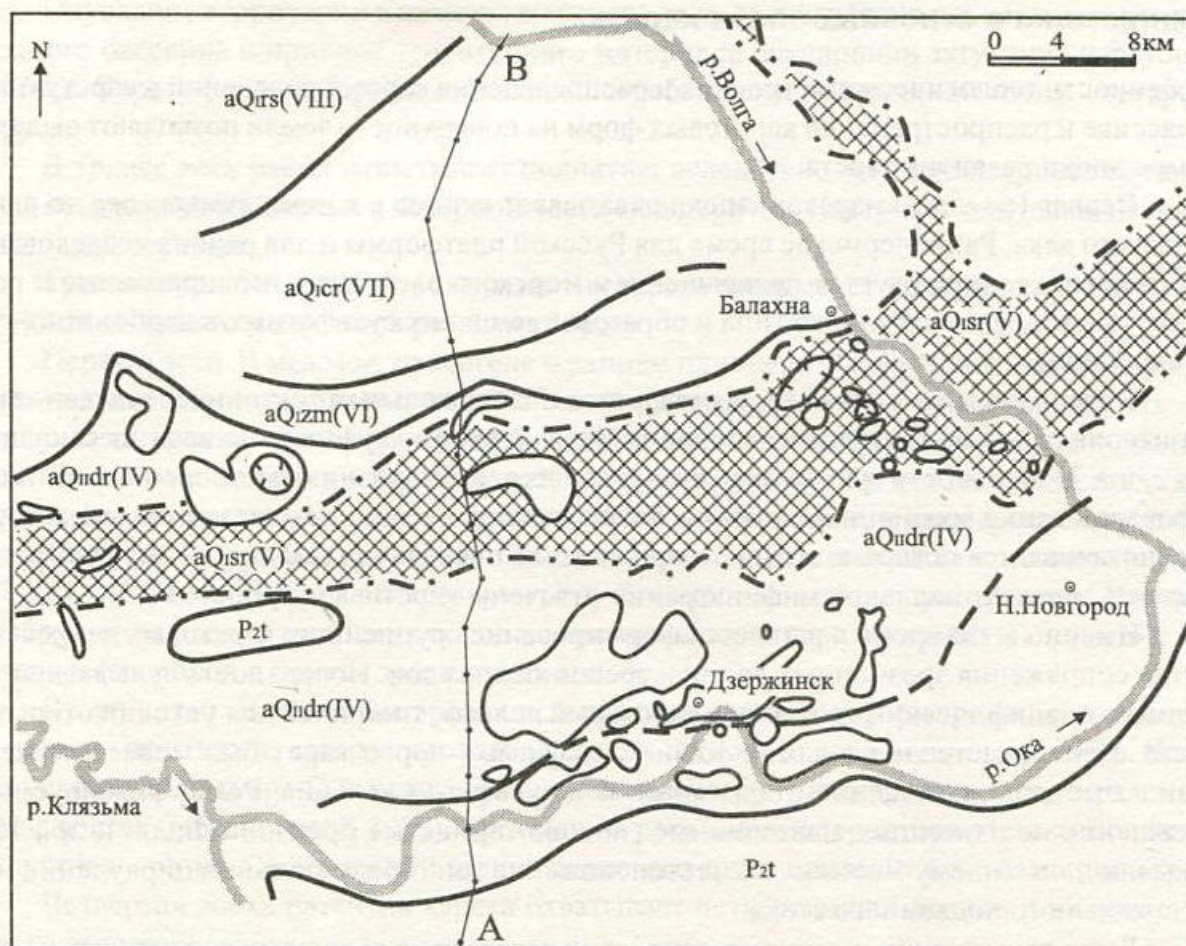


Рисунок. Схематическая карта распространения древних террас, карстовых полей и схематический геологический разрез

- 1 – граница и возраст террасы; 2 – погребенная долина пра-Оки; 3 – отложения татарского яруса; 4 – участки распространения карстовых воронок; 5 – карстовые депрессии; 6 – линия геологического разреза; 7 – пески с прослоями суглинков; 8 – суглинки; 9 – глина; 10 – гипсы, ангидриты; 11 – доломиты, известняки.

Геодинамика и основные эпохи карста

Особенности геологического строения и распределения карстопоявлений в карстующем массиве и распространения карстовых форм на поверхности земли позволяют выделить четыре эпохи развития карста.

Первая (послесакмарская) эпоха охватывает период с конца сакмарского до раннеказанского века. Раннепермское время для Русской платформы и для района исследований, в частности, характеризуется превращением морского бассейна в изолированные и полузамкнутые водоемы лагунного типа и образованием в них сульфатных и карбонатно-сульфатных пород.

В начале артинского века, в результате положительных тектонических движений, территория района выходит из-под уровня моря, и до конца уфимского века здесь существует суша. Поверхность сульфатных пород подвергается эрозии и растворению, начинается формирование эрозионных долин и более мелких эрозионных элементов, по которым сосредотачивается поверхностный сток. В течение нескольких миллионов лет сульфатные породы в зоне вертикальной инфильтрации охвачены карстовым процессом.

Именно в это время начинается формирование крупнейших карстовых депрессий в местах сопряжения эрозионных долин и трещиноватых зон. Поверхность сульфатной толщи имеет специфический эрозионно-карстовый рельеф, типичный для условий открытого карста. Непосредственно в самой толще сульфатных пород карст был менее активен, в связи с быстрым насыщением подземных вод сульфатом кальция. Редко фиксируемые и совершенно не изученные маломощные гипсово-глинистые брекчии (Ильин и др., 1960) указывают, по нашему мнению, на местоположение зон горизонтальной циркуляции и сосредоточенного подземного стока.

Ложе древнейших карстовых депрессий залегает на абсолютных отметках от +5 до -1 м, в единичном случае до -47 м, а зоны брекчированных пород - на отметках +1,0, +8,3, +14,0, +27,5 м. Подчеркнем, что дно наиболее глубоких участков раннеплейстоценовой пра-Оки залегает на отметках +15...+20 м, а среднеплейстоценовой пра-Оки - +32...+40 м (Горецкий, 1966).

Эти данные убедительно доказывают древний характер указанных карстопоявлений.

Завершается первая эпоха с трансгрессией раннеказанского моря. На закарстованные сульфатные породы отлагаются органогенно-обломочные известняки и доломиты с включениями и прослоями гипса, прослоями терригенных и карбонатно-терригенных отложений.

Вторая (предтатарская) эпоха наступает в связи с новым подъемом территории, регрессией казанского моря. Карбонатные породы были выведены на земную поверхность и подверглись интенсивному размыву древними реками. Центральную часть Окско-Волжского междуречья с юго-запада на северо-восток пересекала мощная речная система, впадающая в остаточный бассейн позднеказанского моря. Карст активно развивается в карбонатных и сульфатных породах как на ранее закарстованных участках сульфатных пород, так и в бортах эрозионно-карстовых ложбин этой эпохи. Происходит формирование крупных карстовых полостей в бортах эрозионно-карстовых ложбин, когда кровлю полостей слагают карбонатные породы. Обрушение этих полостей приводит к формированию новой группы карстовых депрессий.

В сводовой части Алатырско-Горьковских поднятий нижнеказанские породы были частично или полностью уничтожены, участками вместе с ними размывы и подстилающие их сакмарские отложения. Таким образом, в предтатарское время сульфатная толща сакмарского яруса подверглась эрозионному размыву вторично. На участках размыва сульфатной толщи были полностью уничтожены карстопоявления первой эпохи.

Опускание территории в начале татарского века, трансгрессия раннетатарского мелководного бассейна и привнос терригенного материала обусловили затухание карстового процесса. Карстующиеся породы оказались погребенными под мощной толщей татарского яруса.

В триасе весь район испытывает поднятие, вследствие чего нижнетриасовые отложения накапливались лишь в северной части междуречья. Наступает длительный континентальный перерыв.

Третья (послетатарская) эпоха развития карста охватывает мезозой, палеоген и неоген. В ней выделяется два этапа развития карста.

Первый этап. В мезозое, палеогене и раннем плиоцене Окско-Волжское междуречье являлось сушей и представляло собой область размыва. Эрозия в значительной степени разрушила татарские отложения и сократила их мощность. Наибольшему размыву подверглись татарские отложения в центральной части междуречья и в некоторых местах были уничтожены полностью. Эрозии вновь подверглись и казанские, и сакмарские породы.

Карстовый процесс, последовательно набирая силу, развивается в местах наиболее глубоких врезов, особенно в областях, затронутых карстом в предыдущие эпохи. Происходит обрушение блоков татарских пород в карстовые полости, сдвигание и сползание блоков татарских пород в бортах эрозионных врезов.

Второй этап. В плиоцене эрозия и денудация привела к формированию плиоценовой долины пра-Волги, которая проходила северо-восточнее современного русла р. Волги. Плиоценовая долина пра-Оки пересекала центральную часть междуречья, простираясь с запада на восток (Обедиентова, 1975). Эрозионное расчленение территории Окско-Волжского междуречья и размыв терригенной толщи татарского яруса приводит к активизации карста.

Четвертая эпоха развития карста охватывает четвертичный период и включает несколько этапов.

Первый этап. В раннечетвертичное время дифференцированные эпейрогенические движения с частой сменой знака обуславливают последовательное врезание пра-Оки и пра-Волги и формирование VIII, VII, VI надпойменных террас. Наиболее интенсивный врез привел к образованию раннеплейстоценовой долины пра-Оки, которая унаследовала плиоценовую долину.

Речной эрозией активно размываются татарские породы, а также казанские и даже сакмарские отложения. Начинается новый, значительный по интенсивности этап развития карста, сравнимый лишь с послесакмарской и дотатарской эпохами. На одних карстовых участках карст унаследованно продолжает свое развитие, на других, где эрозией уничтожены следы развития карста прежних эпох, карст затухает. Завершается первый этап развития карста формированием V террасы.

Второй этап. В начале среднечетвертичного времени начинается новый эрозионный цикл – происходит врез среднеплейстоценового русла пра-Оки. Глубина этого вреза меньше раннеплейстоценового, но ширина среднеплейстоценовой долины значительно больше.

В четвертичную эпоху расширяются территории развития карбонатного и сульфатного карста. В пределах раннеплейстоценовой долины пра-Оки карст унаследованно продолжает свое развитие. Затем район развития карста, вслед за врезанием новых русел пра-Оки, перемещается к югу, в сторону современного русла р. Оки. Формируется новый (среднеплейстоценовый) карстовый район, отделяющийся от раннеплейстоценового района останцом отложений татарского яруса.

Заканчивается второй этап развития карста накоплением аллювия IV надпойменной погребенной террасы. В днепровский век территория Окско-Волжского междуречья подвергалась оледенению.

Третий этап. После днепровского оледенения пульсационные тектонические подвижки обусловили возникновение в районе трех эрозионных циклов рек Оки и Волги – одного среднечетвертичного и двух верхнечетвертичных. Каждый врез со смещением к югу сопровождался накоплением аллювия. Сформировались III, II, I надпойменные террасы рек Оки и Волги, перекрывшие в основном более древние террасы.

Этот этап развития карста ознаменовался оживлением (возобновлением) карстовых процессов в сульфатном и карбонатно-сульфатном массивах и широким развитием карстовых форм на земной поверхности. Многие из них сnivelированы и не фиксируются визуально в настоящее время, но могут быть установлены специальными исследованиями.

Четвертый этап. В голоцене, являющимся последним этапом карстования, происходит врез р. Оки и накопление пойменного аллювия. Осуществляется некоторая активизация карста, развитие которого происходило в среднечетвертичное время. Современный базис эрозии лежит на несколько десятков метров выше древнего базиса.

В историческом плане карст затухает, унаследованно проявляясь на ранее закарстованных территориях. Современная интенсивность образования провалов невысока и составляет в среднем 1 провал на 1 км² за 100 лет, лишь на отдельных участках увеличивается в несколько десятков раз.

Заключение

Таким образом, в Окско-Волжском междуречье сочетание геологических, структурных и тектонических факторов обусловило несколько эпох развития карста. Карст унаследованно развивался в бортах древнейших эрозионных долин, раннеплейстоценовых и среднеплейстоценовых долин пра-рек, смещаясь к югу в сторону современного русла р. Оки.

В настоящее время в массиве карстующихся пород и на земной поверхности можно зафиксировать карстопроявления практически всех этапов и эпох. Детальное картирование этих карстопоявлений позволяет составить прогнозную карту, учитывающую геодинамику карстового процесса и дающую надежную оценку его современной активности.

Литература

1. Горецкий Г.И. Формирование долины р. Волги в раннем и среднем антропогене. Москва: Наука. 1966.
2. Ильин А.Н., Капустин А.П., Коган И.А., Попов И.В., Прозорова Н.А., Саваренский И.А., Чихачев С.М. Карстовые явления в районе г. Дзержинска Горьковской области. Труды Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. Москва: изд-во АН СССР. 1960.
3. Нещеткин О.Б. Некоторые вопросы исследования подземной закарстованности // В сб.: Научные чтения. IV Всеуральское совещание по подземным водам Урала и сопредельных территорий, посвященное 90-летию со дня рождения профессора Г.А. Максимова. (Тезисы докладов, г. Пермь, 23–25 мая 1994 г.): Пермь. 1994. С. 106–108.
4. Обедиентова Г.В. Формирование речных систем Русской равнины. Москва: Недра. 1975.
5. Сафронова А.А. Связь карста с погребенными долинами пра-рек на примере Окско-Волжского междуречья // В сб.: Инженерные изыскания в строительстве. Серия XV. Изучение закарстованных территорий для целей строительства. Выпуск 6 (59): Москва: ЦНИИС. 1977. С. 10–12.