

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА*

А.В. Аникеев, П.М. Кондратьев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
Уланский пер., 13, Москва, Россия, 101000

Е.Н. Огородникова, Е.В. Станис

Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

В статье рассматривается развитие карстовых процессов, интенсивно проявляющихся в южных областях республики Татарстан, которые определяют геоэкологические условия территории.

Карст, в соответствии с классификацией В.Т. Трофимова и Д.Г. Зилинга [5], относится к разряду опасных процессов, которые существенно изменяют ландшафты и тем самым условия жизнедеятельности биоты, в том числе и человека. Они приносят значительный косвенный материальный ущерб как на стадии проектирования, так и эксплуатации сооружений, так как закарстованные породы не всегда являются надежным основанием и средой для их размещения. Развитие карстовых процессов могут вызвать деформации сооружений, провалы зданий, большие водопритоки в подземные выработки и котлованы. На территории республики Татарстан произошел один из немногих случаев гибели человека при вскрытии карстового провала (Акташский провал).

Целью данной работы является оценка интенсивности распространения карстовых процессов в пределах Южно-Татарского свода. Для решения поставленной задачи была проведена типизация геологической среды по признакам, определяющим возможность проявления карстовых процессов. На основе данных де-

* Данная статья написана в рамках инновационной образовательной программы в РУДН «Создание комплекса инновационных образовательных программ и формирование инновационной образовательной среды, позволяющих эффективно реализовать государственные интересы РФ через систему экспорта образовательных услуг».

шифрования карстовых воронок по характерным признакам на космических снимках и обработки на оцифрованных картах с помощью геоинформационной системы MamInfo 8.5 составлена карта интенсивности пораженности территории карстом в зависимости от типов геологической среды.

Изучаемый участок относится к Бугульминско-Белебеевскому плато — наиболее приподнятой части республики [3]. Водоразделы на участке располагаются на хорошо выраженных высотных ступенях: 200—240 м и 300—320 м. Основная речная артерия — река Ик. Долина реки ассиметрична: правый берег крутой, обрывистый, левый пологий, шириной 3—6 км. На последнем, на всем его протяжении, отчетливо выделяются: пойма, I, II террасы и III—IV террасы нерасчлененные, их ширина варьирует соответственно в пределах: 100—500 м, 800 м — 4 км, 0—1 км. Перепад высот между поймой и водоразделом 100—120 м.

Местность интенсивно расчленена постоянными и временными притоками р. Ик, которые вместе образуют гидрографическую сеть района. По химическому составу воды реки Ик гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевые, значение минерализации составляет 1500 мг/л, что определяется распространением сульфатно-карбонатных пород, распространенных в районе, и влиянием нефтедобычи. Речные воды относятся к типу жестких [2; 3]. Питаются реки главным образом дождевыми и грунтовыми водами, весной главным источником питания являются талые снеговые воды. Летом наступает время межени: воды становятся мало, уровень рек понижается, появляются мели.

Климат района умеренно континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой. Годовая сумма осадков составляет 525 мм. Изучаемая территория расположена в зоне лесостепи. Однако в настоящее время под влиянием хозяйственной деятельности человека естественные ландшафты сильно изменены.

Район относится к малозаселенной территории, большая часть его площади занята сельскохозяйственными угодьями, активно ведется нефтедобыча. Основное техногенное влияние на геоэкологическую обстановку в регионе связано с нефтедобычей, что привело к превышению ПДК по тяжелым металлам в почвах, поверхностных и подземных водах вблизи городов и периодическому засолению основных водоносных горизонтов хлоридами на нефтепромыслах. Содержание хлоридов в промышленных водах может приводить к интенсификации процессов карстообразования в карбонатных и сульфатных породах за счет повышения их растворимости.

В геологическом строении района принимают участие архейские, нижнепротерозойские, палеозойские и кайнозойские образования. Палеозойские отложения, к которым приурочены процессы карстообразования, представлены нижним и верхним отделами пермской системы и сложены терригенно-осадочными породами: известняками, доломитами, гипсами, чередующимися с загипсованными песчаниками, алевролитами, мергелями и глинами; перекрыты маломощной толщей четвертичных отложений. Мощность отложений составляет 700—800 м.

Кайнозойские отложения акчагыльского яруса на изучаемой территории выполняют глубокооврезанные палеодолины. Они представлены песками, сменяющимися выше по разрезу глинами. Мощность отложений до 30—40 м.

Отложения четвертичного возраста представлены элювиальными, элювиально-делювиальными, делювиально-пролювиальными и аллювиальными разностями мощностью до нескольких метров. Возраст отложений соответствует среднему, верхнему и современному звеньям плейстоцена и голоцена.

В тектоническом отношении изучаемая территория приурочена к центральной части Волго-Уральской антеклизы, занимающей обширные пространства на востоке древней Восточно-Европейской платформы, и принадлежит крупному тектоническому элементу антеклизы: Южно-Татарскому своду [3]. Современная конфигурация Южно-Татарского свода окончательно сложилась в течение альпийского цикла тектогенеза. Однако геологические границы свода частично унаследованы и разновозрастны. Они проходят по региональным разломам фундамента, с которыми связано формирование с востока и юга протерозойских впадин — авлакогенов, линейных грабенообразных прогибов, резких уступов и флексур.

На изученной территории в пределах описываемого геологического разреза выделяются водоносные комплексы четвертичных, плиоценовых, верхнепермских и нижнепермских отложений, которые используются для водоснабжения. Состав подземных вод приводится в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика состава подземных вод

Водоносный комплекс	Состав вод	Минерализация, г/л
1	2	3
Водоносный комплекс четвертичных отложений	Гидрокарбонатные кальциевые воды	0,3—0,4
Водоносный комплекс Акчагыльского яруса плиоцена N ₂ a	Гидрокарбонатные кальциевые, иногда натриевые воды	0,3—1
Водоносный комплекс отложений татарского яруса P ₂ t	Гидрокарбонатные кальциевые, реже магниевые-кальциевые	0,2—0,6
Водоносный комплекс пород казанского яруса, верхнего подъяруса P ₂ kz ₂	Гидрокарбонатные кальциевые и магниевые-кальциевые воды	0,4—0,75
Водоносный комплекс пород казанского яруса, нижнего подъяруса P ₂ kz ₁	Гидрокарбонатные кальциевые	до 0,7
Водоносный комплекс пород уфимского яруса P ₂ u	Гидрокарбонатные кальциевые воды	0,5—0,7
	Хлоридные натриевые воды	до 74
Водоносный комплекс отложений нижней перми P ₁	Сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные воды	до 1 г/л

Глубокий доплиоценовый врез речных долин способствует связи вод верхнепермских, неогеновых и четвертичных аллювиальных отложений с водами нижней перми, резко различающихся по минерализации и химическому составу, что обуславливает создание в долине р. Ик зоны с интенсивным типом водообмена и способствует проявлению и развитию карста. Относительно низкая минерализация подземных вод района наряду с высокой проницаемостью по тектоническим трещинам и разломам способствует растворимости карстующихся пород.

Карстовые процессы довольно широко распространены на территории исследований. Развитие карста в пермских породах (сакмарско-артинских, казанских, отчасти уфимских и татарских) представляет длительный процесс, тесно связанный с геологической историей этой области. Наиболее древней эпохой в развитии карста в пермских породах является время, соответствующее континентальному перерыву между формированием сульфатно-карбонатных сакмарско-артинских толщ и наступлением казанской трансгрессии [2]. Несомненно, карстовые процессы во время внутрипермского перерыва развивались весьма интенсивно. Карстопроявления этого времени выражаются в широком распространении среди сакмарско-артинских толщ кавернозных пород, определяемых при бурении.

С трансгрессией казанского моря, воды которого покрыли всю рассматриваемую территорию Татарии, развитие карста прервалось, и закарстованные в той или иной степени породы и отложения уфимской свиты были перекрыты сначала глинами, а затем карбонатными, глинисто-карбонатными и сульфатными отложениями. К концу татарского века и в дальнейшем на протяжении всего мезозоя растворимые породы нижней перми и казанского яруса располагались на значительной глубине в зоне затрудненной циркуляции подземных вод.

Крупным переломным моментом в истории развития карста является региональное поднятие, во время которого произошло заложение глубоких эрозионных доакчагыльских врезов. На этом этапе интенсивность процессов выщелачивания резко усилилась вследствие вскрытия в ряде районов растворимых пермских пород, а также в связи с раскрытием трещин как в карбонатных, так и в сульфатных породах, обусловленным разгрузкой от вышележащих толщ. Этот этап, начало которого, вероятно, падает на миоцен, знаменует наступление новой, кайнозойской эпохи развития карста.

Развитие кайнозойского карста в пермских породах Татарстана теснейшим образом связано с развитием неогеновой и четвертичной гидрографической сети, дренирующей трещинно-карстовые воды. Главнейшей закономерностью кайнозойского карста здесь является резкое усиление процессов выщелачивания в придолинных участках. Карст развивается во всех зональных географических ландшафтах: в лесной, лесостепной и степной зонах.

А.Г. Лыкошиным и Д.С. Соколовым [4] выделены две фазы карстообразования. Начальная стадия первой фазы, связанная с резким подъемом Южно-Татарского свода в неогене, заложением глубоких и узких долин рек и их притоков, оставила после себя много карстовых полостей и пещер. Остатками первой фазы карстообразования, несомненно, являются и многие трещины, расширенные выщелачиванием и превратившиеся в своеобразные карстовые каналы. Конечная стадия этой фазы — акчегыльская ингрессия Каспийского моря — способствовала резкому ослаблению карстового процесса в понижениях. На водораздельных участках свода эрозионно-карстовые процессы продолжались с той же интенсивностью [4].

Вторая фаза связана с плестоценовым эрозионным врезом долин. Современный карстовый процесс особенно интенсивно протекает в зоне годовых колебаний уровня карстовых и речных вод. На водоразделах карстовый процесс ограничи-

вается участками, преимущественно лишенными глинистого чехла, где под тальвегами оврагов продолжается развитие карстовых каналов. Об интенсивности современного карстообразования свидетельствуют многочисленные карстовые воронки диаметром 5—120 м и глубиной от 2 до 60 м, нередко с открытыми колодцами и провалами. Поверхностный карст связан, как правило, с зонами нисходящей циркуляции карстовых вод. Наиболее типичной формой карстопроявлений является развитие сухих русел, исчезающих ручьев и рек. Установлено закономерное увеличение суходолов с севера на юг, что находится во взаимосвязи с увеличением крупной тектонической трещиноватости в этом же направлении [3].

Обычно принято считать, что ниже дна русел рек располагается зона карстовой цементации. Однако отмечены случаи развития подруслового карста. Могут существовать подрусловые потоки, которые приводят к возникновению провалных котловин в днище реки. Провалы рек иногда сопровождаются бурным поглощением воды с образованием мощных и опасных водяных воронок. В современных условиях карст находится в состоянии развития и преобразования.

Анализ геологического строения описываемой территории, характера рельефа, гидрогеологических особенностей позволил выделить 8 градаций, отвечающих различным типам геологической среды по условиям развития карста. В основу типизации была положена карта строения геологической среды республики Татарстан масштаба 1 : 500 000 (Г.А. Голодковская, М.Б. Куринов, Ю.А. Мамаев). Основные признаки, по которым проводилась типизация: особенности геологического строения, геоморфологическая характеристика, характеристика гидрогеологических условий, современные геологические процессы. Характеристика выделенных типов геологической среды приводится ниже.

Тип I. Аккумулятивная пойма р. Ик. Высота поймы 1—2 м над урезом реки. Покрывающие отложения: современные аллювиальные накопления (aIV), представленные разнородными песками с гравием и галькой карбонатных пород, а также кварца и кремния. Мощность аллювия колеблется от 7 до 16 м. Подстилающие горные породы: отложения неогена (N₂) — пески и глины. Грунтовые воды пластовые, безнапорные, пресные с минерализацией 0,2—0,3 г/л. Отложения сильно обводнены с глубины 0,5 м. Карстовые процессы не развиты.

Тип II. Эрозионно-аккумулятивная I надпойменная (н/п) терраса. Высота террасы над урезом реки 10 м. Покрывающие отложения: аллювиальные образования I н/п террасы (aII—III) представлены песчаными или грубообломочными разностями. Мощность аллювиальных отложений 2—3 м. Подстилающие породы — отложения неогена (N₂) — морские глины с прослойками песков; в переуглубленных долинах распространена фациально изменчивая толща песков с линзами гравия и гальки. Мощность отложений неогена до 50 м, в переуглубленных долинах до 200 м. Развиты грунтовые воды в аллювиальных отложениях. Глубина залегания на низких террасах 2—5 м, на сдренированных участках террас 20 м. Воды пресные с минерализацией от 0,2 до 0,8 г/л; до глубины свыше 20 м — напорные с дебитом от 0,4 до 18 м³/час. Карстовые процессы не развиты.

Тип III. Эрозионно-аккумулятивная II н/п терраса (высота террасы 10—15 м). Покрывающие отложения: аллювиальные отложения II н/п террасы (aII—III) представлены песчаными или грубообломочными разностями. Мощность аллюви-

альных отложений 2—3 м. Аллювиальные отложения подстилаются отложениями казанского яруса (P_2kz) — переслаивающиеся пачки известняков, мергелей, доломитов, глин, алевролитов, песчаников с редкими прослоями гипсов и ангидритов. Грунтовые воды аллювиальных отложений пресные с минерализацией до 1 г/л. Глубина залегания колеблется от 3—5 м и 10—20 м на сдренированных участках. Воды верхнепермских отложений казанского яруса безнапорные и напорные с локальными напорами от 5—10 и до 60 м. Минерализация изменяется с глубиной от 0,3 до 3 г/л. Для этого типа геологической среды характерен погребенный карбонатно-сульфатный карст.

Тип IV. Эрозионная поверхность III надпойменной террасы. В геоморфологическом отношении этот тип геологической среды представлен фрагментами эрозионной поверхности III террасы высотой 90 м. Поверхность террасы сложена маломощной (1,0—1,5 м) толщей элювия (eIII—IV), представленного щебнисто-глинистыми породами. Обломки размером 2—5 см практически не окатаны, остроугольны. Фактически терраса выработана в верхнепермских отложениях казанского яруса (P_2kz), описание литологического состава которых приводится выше. Воды верхнепермских отложений казанского яруса безнапорные и напорные с локальными напорами от 5—10 и до 60 м. Минерализация изменяется с глубиной от 0,3 до 3 г/л. Известняки и доломиты закарстованы, на поверхности террасы наблюдаются свежие провальные воронки.

Тип V. Пологие приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин. Описываемый тип среды включает пологие приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин, ярусные, волнистые, местами увалистые, расчлененные долинами малых рек. На склонах распространены маломощные толщи (от 0,7 до 1,5 м) — элювиально-делювиальные — делювиально-пролювиальные отложения (edIII—IV), представленные щебнисто-суглинистыми, суглинистыми в различной степени и даже песчаными породами. Мощность образований определяется крутизной склона. Непосредственно под маломощной толщей четвертичных отложений залегают верхнепермские отложения казанского яруса (P_2kz), карстовые процессы слабо развиты.

Тип VI. Относительно крутые приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин. К выделенному типу геологической среды относятся приводораздельные поверхности возвышенных пластово-ярусных равнин, расчлененные долинами рек и оврагов. Четвертичный комплекс отложений представлен щебнисто-суглинистыми, суглинистыми в различной степени и даже песчаными различными элювиально-делювиального и делювиально-пролювиального генезиса (edIII—IV). Четвертичные отложения подстилаются породами казанского яруса (P_2kz). Известняки и доломиты казанского яруса закарстованны, наблюдаются как поверхностные, так и глубинные формы карста.

Тип VII. Эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста. К этому типу относятся эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста (абс. отм. 180 м), покрытые маломощным (1,0—1,5 м) чехлом элювиальных образований (eIII—IV), представленных щебнисто-глинистыми породами. Обломки размером 2—5 см практически не окатаны, остроугольны. Под маломощным слоем элювия залегает терригенно-карбо-

натная толща отложений верхней перми татарского яруса (P_2t), представленная переслаивающейся фациально-замещенной толщей пестроцветных глин, алевролитов, песчаников с подчиненными прослоями аргиллитов, мергелей, известняков. Воды верхнепермских отложений татарского яруса безнапорные, напорные с локальными напорами до 100 м, минерализация увеличивается с глубиной и изменяется от 0,3 до 2,2 г/л. Карстовые процессы развиты в карбонатных породных разностях. Отложения татарского яруса подстилаются отложениями казанского яруса.

Тип VIII. Эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста. Этот тип геологической среды включает эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста с абсолютной отметкой 280 м, с поверхности, перекрытой маломощными элювиальными (eIII—IV) образованиями, под которыми залегают переслаивающиеся пачки известняков, мергелей, доломитов, глин, алевролитов, песчаников с редкими прослоями гипсов и ангидридов казанского яруса (P_2kz). Минерализация подземных вод изменяется с глубиной от 0,3 до 3 г/л. Известняки и доломиты закарстованы, развит карст как поверхностный, так и глубинный, преимущественно на сульфатных породах.

Анализ проведенной типизации показывает, что в пределах исследуемой территории районы, характеризующиеся распространением современных аллювиальных отложений и приуроченные к распространению пород акчагыльского яруса плиоцена, в современных условиях не подвергаются процессу карстообразования. В остальных районах, выделенных по типу геологической среды, возможны современные проявления карста.

Оценка интенсивности распространения карстовых процессов на изучаемой территории проводилась на основе полевых работ, выполненных Лабораторией анализа геологического риска ИГЭ РАН с целью установления региональных пространственной и временной изменчивости карстового процесса юго-восточной части Республики Татарстан [1]. На полевых работах были обследованы области наибольшего скопления карстовых деформаций, выявленных по космическим снимкам и принятых как ключевые. В процессе их проведения на этих участках проводилось установление дешифровочных признаков, а также уточнение информации о размерах воронок, их морфологическом облике, приуроченности к разновозрастным элементам рельефа. Для определения возраста данных деформаций опрашивалось местное население в целях выявления недавно образовавшихся воронок.

На космических снимках, сделанным со спутника «Ландсат», были дешифрованы карстовые воронки различной формы и диаметра. Дешифрирование и последующие картографические работы производились с помощью геоинформационной системы MamInfo 8.5.

Характерными признаками идентификации карстовых воронок является наличие на снимке круглых или эллипсоидных форм различного диаметра. На оцифрованной картографической основе наносятся точечные объекты, соответствующие карстовым воронкам. Каждому точечному объекту приписывается идентификационный номер, который, в свою очередь, соответствует положению объекта в едином геоинформационном пространстве, т.е. объект приобретает абсолютные

координаты в проекции Гаусса-Крюггера. Далее полученные данные (картографический слой) накладывается на слой с нанесенными воронками, которые были получены на основе полевых исследований для изучаемой территории. Точки наносились на слой по абсолютным координатам GPS-приемника. Если точечные объекты при наложении вышеописанных слоев находились в непосредственной близости, то объект полностью идентифицировался; если такого совпадения не наблюдалось, то он интерпретировался как неопределенный. С помощью использованной программы представилась возможность рассчитать плотность проявления карстовых воронок на квадратный километр площади.

Анализ результатов расчета интенсивности проявления карстовых воронок по отношению к выделенным типам геологической среды позволил все данные типы охарактеризовать по плотности распространения карстовых воронок (табл. 2).

Таблица 2

Оценка типов геологической среды по плотности распространения карстовых воронок

Тип геологической среды	Плотность распространения карстовых воронок на км ²
I. Аккумулятивный рельеф поймы реки Ик	1—2
II. Эрозионно-аккумулятивный рельеф I н/п террасы	1—2
III. Эрозионно-аккумулятивный рельеф II н/п террасы	2—3
IV. Эрозионная поверхность III надпойменной террасы	3—4
V. Пологие приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин	2—3
VI. Относительно крутые приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин	4—5
VII. Эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста с абсолютными отметками до 180 м, сложенные породами татарского яруса верхней перми	3—4
VIII. Эрозионно-денудационные поверхности выравнивания плиоценового возраста с абсолютными отметками до 280 м, сложенные породами казанского яруса верхней перми	4—5

Таблица 3

Интенсивность распространения карстовых воронок в пределах выделенных типов геологической среды

Интенсивность развития процесса	Типы геологической среды
Интенсивное	VI. Крутые склоны водораздела; VIII. Поверхность водораздела, сложенная казанскими отложениями
Среднее	IV. Эрозионная поверхность III террасы; VII. Поверхность водораздела, сложенная татарскими отложениями
Слабое	III. Эрозионно-аккумулятивная II н/п терраса V. Пологие приводораздельные склоны возвышенных структурных равнин
Практически отсутствует	I. Аккумулятивная пойма р. Ик II. Эрозионно-аккумулятивная I н/п терраса

Анализ приведенных данных позволяет выделить для изучаемой территории четыре градации, соответствующие различной интенсивности проявления карстовых форм применительно к выделенным типам геологической среды:

— участки интенсивного развития карстовых процессов — 4—5 воронок на км² площади;

— участки среднего развития карстовых процессов — 3—4 воронки на км² площади;

— участки слабого развития карстовых процессов — 2—3 воронки на км² площади;

— участки, в которых карстопоявление практически отсутствует — 1—2 воронки на км² площади.

Систематизация интенсивности проявления карстовых процессов в соответствии с выделенными типами геологической среды приведена в табл. 3. Полученные материалы были использованы при составлении Карты типов геологической среды в пределах Южно-Татарского свода и Карты интенсивности пораженности карстовыми процессами исследованной территории. Результаты работы могут быть использованы как исходные материалы для инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий при хозяйственном освоении территории.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Аникеев А.В., Кондратьев А.В., Сулимова А.Ю., Чумаченко С.А.* Карстовые воронки на востоке республики Татарстан и некоторые особенности их формирования. Сергеевские чтения. — Вып. 9. — М.: ГЕОС, 2007. — С. 74—79.
- [2] *Галлиев У.З., Станкевич Е.Ф.* Подземные воды Восточного Закамья. Труды Казанского филиала АН СССР. Серия геологических наук. — Выпуск 8. — Казань, 1964.
- [3] *Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника.* — М.: ГЕОС, 2003.
- [4] *Инженерная геология СССР.* — Т. 1. Русская платформа. — М.: МГУ, 1978.
- [5] *Трофимов В.Т., Зиллинг Д.Г.* Экологическая геология. — М.: Геоинформмарк, 2002. — С. 142—175.

ESTIMATION OF DISTRIBUTION OF KARSTIC PROCESSES WITHIN THE LIMITS OF SOUTH-TATAR ARCH

A.V. Anikeev, P.M. Kondratyev

Geoecological Institute E.M. Sergeev of the RAC
Ulanskiy str., 13, Moscow, Russia, 101000

E.N. Ogorodnikova, E.V. Stanis

Ecological faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Podolsk highway, 8/5, Moscow, Russia, 113093

In southern areas of republic Tatarstan karstic processes form geoecological conditions of territory. Karstic processes concern to a class of dangerous processes. They change landscapes. Development of karstic processes can cause deformations of constructions, failures of buildings, greater inflows of water to underground developments and foundation ditches. In the given work typification of the geological environment has been lead and the estimation of intensity of distribution of karstic processes in the studied territory is made.