



В.Н. Андрейчук, В.В.Толмачёв

Вопросы инженерного карстоведения в трудах профессора Ежи Лишковского (1936-2005)

Андрейчук В.Н., Толмачёв В.В. Вопросы инженерного карстоведения в трудах профессора Ежи Лишковского (1936-2005) // Спелеология и карстология, - № 5. – Симферополь. – 2010. С. 54 - 62

Резюме: Ежи Лишковский относится к весьма колоритным фигурам польской геологической науки последних десятилетий. Среди его научных работ видное место занимают вопросы инженерного карстоведения. В этой области им опубликовано более 30 работ, касающихся вопросов формирования карстовых провалов и деформаций, механизма обрушения сводов подземных полостей, оценки карстовой опасности и т.д., не утративших своего значения до настоящего времени.

Ключевые слова: карст, инженерное карстоведение, инженерная геология, Ежи Лишковский

Андрейчук, В.М., Толмачов В.В. Питання інженерного карстознавства у працях професора Єжи Лішковського (1936-2005) // Спелеологія і карстологія, - № 5. – Симферополь. – 2010. С. 54 - 62

Резюме: Ежи Лішковський належить до надзвичайно колоритних фігур польської геологічної науки останніх десятиріч. Серед його наукових праць видне місце займають питання інженерного карстознавства. В цій області ним опубліковано понад 30 робіт, що стосуються питань карстових провалів та деформацій, механізму западання крієлі підземних порожнин, оцінки карстової небезпеки тощо, які не втратили свого значення донині.

Ключові слова: карст, інженерне карстознавство, інженерна геологія, Ежи Лішковський

Andreychouk V.M., Tolmachov V.V. The questions of engineering karstology in the works of professor Jerzy Liszkowski (1936-2005) // Speleology and Karstology, - Vol. 5. – Simferopol. – 2010. – P. 54 - 62

Abstract: Jerzy Lishkovsky belongs to a very colorful figures of the Polish geological science in recent decades. Among his scientific works karst engineering issues occupy a prominent place. He has published over 30 papers in this area including studies on the formation of collapse dolines and karst deformations, on the mechanisms of collapse of underground cavities arch, on assessment of karst subsidence hazard. His works do not lose their value till nowadays.

Key words: karst, engineering karstology, engineering geology, Jerzy Liszkowski

ВВЕДЕНИЕ

Ежи Лишковский (Jerzy Liszkowski)¹ относится к весьма колоритным фигурам польской геологической науки последних десятилетий. «Цветовая палитра» этого ученого – это исключительная увлеченность наукой, разносторонность интересов, научная «всеядность» и при этом – новаторство, оригинальность идей и высочайший научный профессионализм. В наше время – время узкоспециализированных исследований – почти невозможно сочетать разносторонность интересов и глубину проводимых исследований. Ему же это удалось – благодаря непреходящей «любопытности мира», врожденному таланту исследователя, исключительной наблюдательности и трудолюбию.

¹ В дальнейшем, для краткости, будем называть его лишь инициалами (Е.Л).

Его энергии и любознательности хватало не только на научные исследования, но и на страстное коллекционирование, например, зубов ископаемых акул (им собрана одна из лучших в мире коллекций). С нескрываемым, почти детским восторгом, он радовался их каждой очередной находке. Та же, какая-то особенная, радость наполняла его при «раздобытии» очередной «совушки» - фигурки его любимой птицы. После таких находок день его был полон счастья, и этой спокойной радости хватало, чтобы ею прониклись также окружающие его в тот день спутники.

Авторам настоящей статьи посчастливилось неоднократно общаться с Ежи Лишковским, участвовать в совместных выездах и семинарах, делать совместные доклады, а также проводить наблюдения в карстовых районах Польши, Западной Украины, Поволжья и Урала. Е.Лишковский не был «чистым» карстологом, но как и во многих других случаях, он очень серьезно «зацепил» вопросы карстоведения, особенно инженерного, оставив целый ряд интересных результатов исследований и идей. О них, главным образом, и пойдет речь в настоящей статье.

Прекрасно владея, помимо немецкого и английского, также русским языком, он был большим знатоком советской и российской геологической литературы и часто возмущался на международных встречах, когда что-нибудь уже изученное советскими исследователями преподносилось как совершенно новое². Владение языком позволяло ему также сотрудничать с геологами и карстоведами «с Востока», в числе которых оказались и авторы. Поэтому, пользуясь случаем, авторы хотели бы в этой статье также воздать дань памяти этому ученому и ознакомить кратко читателя с главными вехами его жизни и деятельности, а также особенностями научного наследия.

БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Ежи Лишковский (рис. 1), для друзей - просто Юрек, родился в 1936 году. Его детство окутано тайной, а сам он не любил распространяться на эту тему. Из личных разговоров известно, что военные вихри забросили его семью в Германию, а сам он рано осиротел и воспитывался в детском доме: сначала в Берлине, потом в Польше. Детство его не было легким, но исключительная любознательность, любовь к наукам о Земле еще в школьные годы однозначно определили его жизненный путь – наука, изучение Земли.

В 1955 году он поступает на геологический факультет Варшавского университета, а в 1961 году (учеба длилась тогда почти 6 лет) заканчивает его (кафедру инженерной геологии) со специальностью на дипломе „Техническая геология”. Его дипломная (магистерская) работа „Инженерно-геологическая съемка масштаба 1:25 000 окрестностей Белтова...” удивила даже маститых геологов. Кроме кондиционной инженерно-геологической информации, она содержала множество дополнительных сведений седиментологического и палеонтологического характера, полученных самим автором в процессе исследований, которые органически вошли в характеристику свойств пород и отложений, включая оценку их несущих способностей.

В период с 1962 по 1978 год Е.Лишковский работает в Варшавском университете, сначала в качестве ассистента (1962-1970), а затем доцента (1970-1978). В 1967 году он защищает кандидатскую диссертацию на тему „Инженерно-геологическая характеристика развития карста на фоне литологии верхнеюрских образований северо-восточной окраины Свентокшиских Гор”. В ней он показал большое значение для развития карста литологических особенностей карстующихся пород.

Уже в это время, обладая большой эрудицией и разносторонними взглядами в области геологии, проводя большую часть свободного времени за чтением геологической литературы, он становится среди научной молодежи факультета признанным авторитетом. Его мнение в дискуссиях на тот ли иной вопрос становится почти „арбитральным”, что и породило шутку: „Давайте Лишковского!”. За период работы в Варшаве

² Последнее, правда, чаще всего происходило от незнания, языковой недоступности или засекреченности наших работ для западного исследователя, а не от „злой воли” или иных мотивов.

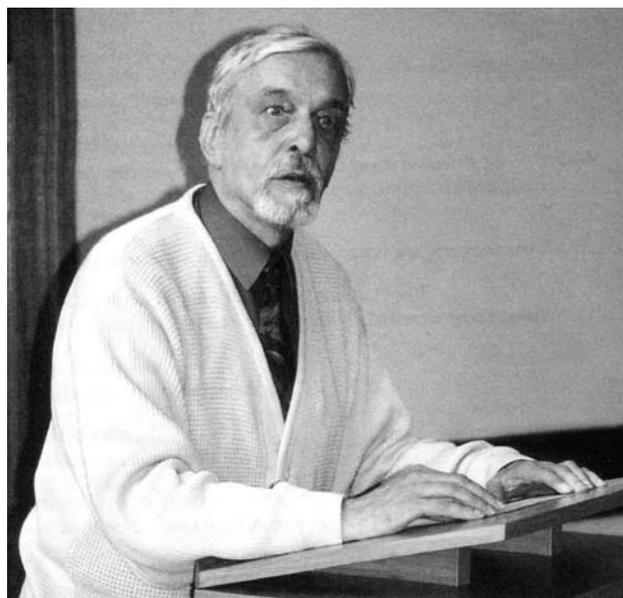


Рис. 1. Ежи Лишковский (1936-2005). Из книги Geologos (2007/11). Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. S. 19-42.

он публикует 68 работ, из которых 36 посвящает вопросам инженерной геологии и гидрогеологии, 14 – общей геологии, еще 13 - исторической геологии (стратиграфии и палеонтологии). 5 – региональной инженерной геологии. Среди инженерно-геологических работ 12 посвящено карсту, 11 – современным и неотектоническим движениям земной коры – в увязке с инженерно-геологическими условиями территорий, 2 – фильтрационным деформациям грунтов и одна – склоновым процессам.

С 1978 по 1990 год Е.Лишковский работает в Силезском университете, в Отделе Наук о Земле в Сосновце. Его работы по карсту замечены известным польским карстологом Марианом Пулиной, как раз в то время формировавшим в Силезском университете карстовое подразделение (кафедру геоморфологии карста). М. Пулина приглашает Лишковского на кафедру – для совместной работы над вопросами карста и пещер. Е.Лишковский привнес в молодой коллектив разносторонность взглядов, дух творчества и дискуссий, помог посмотреть на карст шире, чем это было принято ранее. В 1982 году он защищает в Варшавском университете докторскую диссертацию. В период с 1984 по 1987 год исполняет функции заместителя декана факультета (заведует учебной частью).

Помимо ангажирования в карстологические исследования, он активно продолжает свои инженерно-геологические изыскания, инициирует съемочные (инженерно-геологические и гидрогеологические) работы в силезском регионе и в Польше, сам берется за отработку ряда региональных листов. Участвует в организации и развитии Международной спелеологической школы, ежегодной школы геологов Силезского университета и в других мероприятиях. Неутомимо обследует (как с научной целью, так и как коллекционер ископаемых) силезские обнажения, карьеры, каменеломни, шахты и даже – сооружения из силезских доломитов и известняков (триаса и

юры), включая каменные ограды кладбищ – с целью их (пород) скрупулезного исследования и описания. Продолжает палеонтологические исследования в Свентокшиских горах, публикуя ставшую классической работу о девонских ихтиопитах (совместно с Г. Рацким). В университете Е.Л. активно сотрудничает не только с карстологами и палеонтологами, но и с седиментологами и литологами, петрографами и геохимиками, гидрологами и гидрогеологами, тектонистами и структурными геологами, геологами-съемщиками и геологами-региональщиками и т.д. Результатом сотрудничества являются 20 работ, касающихся разнообразных аспектов геологической науки.

В Силезии он наконец обустроивает свою семейную жизнь. На 45 году, убежденный и преданный исключительно науке холостяк „сдается”. Будучи очарован своей бывшей (по Варшавскому университету) студенткой, а позже - ассистентом Отдела наук о Земле Силезского университета – Эвой Путиловской – он становится семейным человеком. В его жизнь входят семейные хлопоты и радости (рождение двух дочерей), которым он, как и науке, отдается всей душой.

В 1990 году, главным образом в связи с болезнями детей (экологические условия в Силезии в то время были наихудшими во всей Европе), переезжает в более благополучную в этом отношении Познань, где начинает работать в университете им. Адама Мицкевича. Как и в предыдущем случае, его приход серьезно укрепляет геологический факультет. В течение года его переводят на должность университетского профессора, а в 2002 году он становится профессором титулярным (научное звание).

В Познани Е.Л. довольно быстро нашел свое место в коллективе и множество „точек соприкосновения” с коллегами по факультету. Будучи исследователем разносторонним, он начинает активно сотрудничать также с Политехническим институтом и Сельскохозяйственной Академией – крупнейшими, наряду с университетом, научно-учебными организациями этого большого города. Проводя исследования в области геодинамики, читает также лекции на физическом факультете – на специальности „Физика Земли”. Географическая специфика региона (последледниковый облик) предопределяет вовлечение в круг его научных интересов также вопросов гляциальной геологии и палеогеографии. Кроме публикаций, его новаторские идеи в этой области нашли свое воплощение в отработке очередных листов геологической съемки масштаба 1:50 000, на этот раз – нового интересного региона...

Ежи Лишковский ушел из жизни довольно неожиданно для всех. Его болезнь (невесть откуда взявшаяся) развивалась, по-видимому, достаточно давно. Он, к сожалению, много курил. Он предполагал, что пристрастие к курению может оказаться для него роковым и как-то в разговоре сказал мимоходом: „Я знаю, что может быть, и если болезнь придет, я не стану ничего делать. Буду работать, пока смогу”. Тогда эти суждения показали странными и нелогичными. Но именно так и произошло. Больше всего были шокированы студенты: Как? Этого не может быть! Две недели тому профессор читал нам лекции и был, как всегда, элегантен и благожелателен!

Ежи был человеком „с шармом”. Всегда аккуратный, в безупречном костюме или в „стильном” пулloverе, седой, со стройной походкой и всегда вскинутой головой. Его эллегантность проявлялась и в общении с людьми, и в поведении, и в научной дискуссии. Он очень любил дискуссии и разговор. При этом не делал разницы между пытливым студентом и маститым профессором: с каждым из них он мог просидеть (за рюмкой хорошего коньяка), окутывая собеседника сладковатым табачным дымом, не один час.

В науке он был яркой индивидуальностью и любил ходить своими собственными тропами. Часто не соглашаясь или оспаривая те или иные положения, он, тем не менее, делал это очень последовательно и доброжелательно. Он не спорил горячо и никогда не доказывал свою правоту, а просто приводил аргументы и доказательства, как бы сам им удивляясь. После разговора или дискуссии с Лишковским, собеседник уходил с убеждением, что даже с постулатами геологической науки не все так однозначно, как это кажется на первый взгляд. Из-за увлечения наукой он старался избегать руководящих должностей, которые ему предлагали. Но в поручения, в том числе организационного характера, ангажировался „без остатка”. Ему было стыдно сделать что-нибудь плохо, даже если дело было пустяковое.

Друзьям и коллегам Ежи Лишковский запомнился как талантливый, оригинальный, отзывчивый и благожелательный человек. Особенно впечатляла его геологическая эрудированность. С ним можно было дискутировать или общаться на любую геологическую тему. Вся геология была его непреходящей passion. Один из соратников Лишковского по варшавскому периоду его жизни удачно заметил: „В случае Юрка Лишковского, как нельзя лучше подтверждается поговорка, что хороший инженер-геолог – это, прежде всего, хороший геолог”. Именно увлечение геологией с детских времен, любовь к чтению геологической литературы позволили ему оставить такой глубокий и разносторонний след в геологической науке.

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

Е.Лишковский оставил 141 опубликованную работу, в том числе 5 учебников и учебных пособий, 55 работ, подготовленных к публикации, а также серию инженерно-геологических и геологических карт и экспертных заключений. Может быть в количественном отношении цифры эти не производят большого впечатления, но поражает, несомненно, разносторонность и глубина исследований, представленных в публикациях. Отметим наиболее важные из них.

Непосредственно в области *инженерно-геологических исследований* им опубликовано 28 работ, посвященных оценке инженерно-геологических условий территорий, общей теории экзогенных процессов, теории и практике инженерно-геологического прогнозирования, освоения месторождений полезных ископаемых, проблемам устойчивости грунтов и оснований, механике грунтов, лессовым отложениям – их генезису, физическим и микроструктурным свойствам, просадочности, фильтрационным свойствам, деформациям грунтов, инженерно-

геологическим свойствам грунтов, антропогенно-обусловленным деформациям, инженерно-геологическому картированию и т.д. В широко понимаемых инженерно-геологических изысканиях он также автор серии экспертных заключений, соавтор двух методических разработок (в том числе – Атласа), касающихся инженерно-геологической оценки территорий для разных целей, автор инструкций по изучению трещиноватости пород, определению устойчивости склонов и откосов, размещению пунктов геодезической сети, оценки пригодности территории для целей гражданского строительства.

Еще 11 его работ, близких к инженерной геологии, касаются вопросов *гидрогеологии*: водопроницаемости пород, гидравлической связи разнотипных коллекторов, методики составления гидрогеологических карт, гидрогеологического картирования.

Одним из наиболее плодотворных направлений научной деятельности Е.Л. Лишковского (35 работ) была широко понимаемая *геодинамика литосферы*. Его работы в этой области посвящены вопросам неотектоники, изостазии, трещиноватости пород, современным тектоническим движениям земной коры (вертикальным и горизонтальным), тектоническим деформациям и формированию кластических отложений, тектонического районирования, палеотектоники варисцидов и Тетиса, связи геотермального поля Земли с современными тектодвижениями, региональной тектоники, гляциогеодинамики, соляной тектоники, методики изучения движений земной коры на геодинамических полигонах и т.д. В 1977 году он инициирует, участвует и редактирует крупную (более 300 страниц) работу по изучению трещиноватости скальных массивов.

Значительное количество (18) работ Е. Лишковского посвящено вопросам *палеонтологии и стратиграфии*. Они касаются юрской фауны, роракских рифов, биостратиграфии дана и палеоцена, ихтиофауны, серпулевых фаций, костяных брекчий, фациального анализа и литофаций, палеоэкологии, ихтиолитов девона, литостратиграфии триаса, составления палеогеографических карт и т.д. Он автор и соавтор двух учебных пособий по собиранию и препарированию окаменелостей. Еще 8 работ посвящены вопросам *палеогеографии и четвертичной геологии* (термический режим ледниковых покровов, ледниковый покров как геотектонический фактор, генезис субфаций моренных глин, палеоледниковые периоды, проблемы архейской истории Земли, мессинский кризис и др.).

В 19 своих работах проф. Лишковский касается вопросов *литологии и седиментологии*: образования литотамниевых известняков, глауконитовых осадков, проблем осадконакопления и его моделирования, микрофациального анализа, эндогенного соленакопления, обизвесткования гляциальных отложений, карбонатной седиментации, палеоледниковых отложений, литологии юрских известняков, формовочных песков и т.д.

В остальных своих работах он касается также геоморфологических проблем (генезис польских возвышенностей, гляциальный морфогенез), компьютеризации геологии, геостатистики и т.д.

Среди прочих, 30 работ Е.Л. Лишковского посвящены карсту. Шесть работ из области карстологии остались неопубликованными. Карстовые работы касаются, прежде всего, вопросов инженерного карстологии, а также гидрогеологии карста и спелеогенеза. Отметим некоторые из них, в которых вопросам инженерного карстологии было уделено наиболее существенное внимание.

ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО КАРСТОВЕДЕНИЯ

Уже в одной из своих первых публикаций (1966), посвященных карсту, Е.Л. делает серьезные инженерно-геологические выводы. Это была статья «*Основы классификации карстовых явлений и процессов для инженерно-геологических и гидрогеологических целей*» (Liszkowski, 1966 b). Анализируя основания, принципы и критерии классификации карстовых явлений и процессов, он выделяет главные из них, на которых должны базироваться классификации карста, имеющие инженерно-геологическое значение. На первое место он ставит литологический состав карстующихся пород, далее геолого-структурные (тектонические) особенности карстовых массивов, а затем – гидрогеологические условия, тщательно оговаривая каждый критерий инженерно-геологической точки зрения. В этой работе им предложены четыре классификации карстовых процессов и явлений, которые могут быть использованы в инженерно-геологической практике: классификация карстующихся пород, опирающаяся на их литологическом составе и растворимости, генетическая классификация карстовых процессов в увязке с зонами циркуляции подземных вод, генетическая классификация и систематика карстовых форм, а также классификация поверхностных карстовых форм по их размерам. Предложенные классификации не утратили своего научного и практического значения до сегодняшнего дня.

Особый интерес вызывает вторая классификация – карстовых процессов и явлений (рис. 2). Пропагандируя тезис “процессуального многообразия” карста, он пришел к выводу, что в классификации карста для инженерно-геологических целей необходимо разделить многосложный карстовый процесс на составляющие (рис.2). Понятие карстового процесса рассматривается им как собирательный термин, охватывающий ряд совпадающих или протекающих параллельно процессов, различных по *причинам возникновения и динамике развития*. Следующим шагом была увязка выделенных процессов-составляющих с главными зонами циркуляции подземных вод. Он подчеркивал, что для инженерно-геологической практики необходимы конкретные знания о конкретных процессах, имеющих место в данном месте и в данное время. Если мы не разберемся с конкретными составляющими карстового процесса, мы не сможем выйти на количественную оценку процессов, и, соответственно, их прогноз.

Весьма удобна также с инженерно-геологической точки зрения, несмотря на в целом механистический характер, его морфометрическая классификация

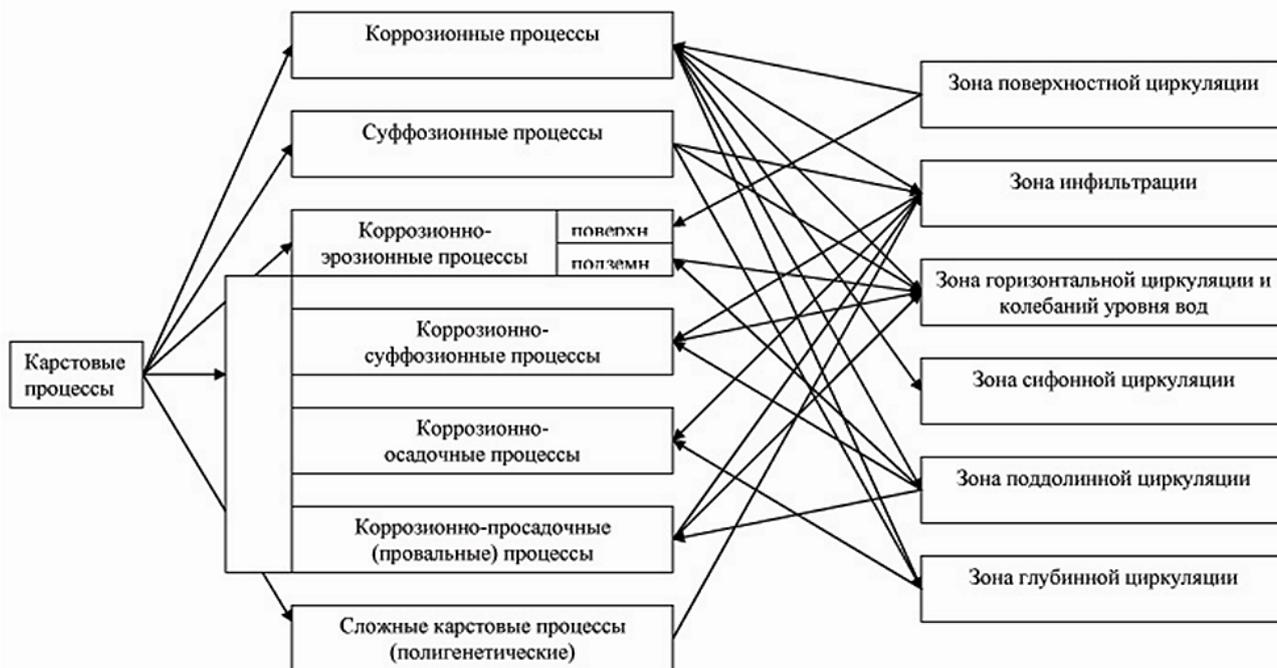


Рис. 2. Классификация карстовых процессов в увязке с зонами циркуляции подземных вод (Liszowski, 1967).

Микроформы	<	1	Очень малые формы	(D = 0,0 - 2,5 м, H = 0,0 - 1,0 м)
		2	Малые формы	(D = 2,5 - 5,0 м, H = 1,0 - 5,0 м)
Мезоформы	<	3	Средние формы	(D = 5,0 - 25,0 м, H = 5,0 - 10,0 м)
		4	Средне-большие формы	(D = 25,0 - 50,0 м, H = 10,0 - 25,0 м)
Макроформы	<	5	Крупные формы	(D = 50,0 - 250,0 м, H = 25,0 - 50,0 м)
		6	Очень крупные формы	(D ≥ 250,0 м, H ≥ 50,0 м)

Рис. 3. Размерная (по величине) классификация поверхностных карстовых форм ((Liszowski, 1967).

карстовых форм (рис.3). Поверхностные карстовые формы по их размерам (D - в плане, Z- по глубине) Е.Л. разделил на шесть групп:

- (1) D < 2,5 м, Z < 1,0 м;
- (2) D = 2,5 – 5,0 м, Z = 1 – 5 м;
- (3) D = 5 – 25 м, Z = 5–10 м;
- (4) D = 25 – 50 м, Z=10 – 25 м;
- (5) D=50 – 250 м, Z=25–50 м;
- (6) D=>250 м, Z>50 м.

При изысканиях и крупномасштабных оценках закарстованных территорий часто возникают ситуации, в которых необходимо не только качественно, но и количественно описать, исследовать параметры поверхностных карстовых форм. Принятые Лижковским эмпирические пределы размеров форм базируются на его многочисленных наблюдениях и исследованиях в районе покрытого карста Польши, но могут иметь, в значительной степени, универсальное значение (для покрытого карста как такового).

Две статьи Е.Л. (Liszowski, 1973a, 1973b), опубликованные в Трудах симпозиума Международной ассоциации по инженерной геологии IAEG (Hannover, 1973), оказали заметное влияние на развитие инженерного карстведения во многих странах. Именно на эти работы имеется большое число ссылок, в том числе по прошествии многих лет после их публикации. На этом симпозиуме одна из четырёх тем была посвящена закономерностям (механизму) карстовых деформаций. Можно утверждать, что доклад Е.Л. “Замечания о геомеханике провалов” по этой проблеме был наиболее значимым.

На основе многочисленных измерений в полевых условиях Е.Л. попытался выявить взаимосвязь между диаметрами провалов D и отношениями их к глубине Z. Чёткой взаимосвязи получено не было, хотя была намечена определенная тенденция существования обратной зависимости. Е.Л. показал, что между размерами провалов на земной поверхности и размерами полостей в карстующихся породах существует лишь косвенная связь. В то же время, диаметр D круглоцилиндрического провала находится в достаточно тесной связи с радиусом кривизны R₀ промежуточной полости в грунтах покровной толщи и, следовательно, зависит от удельного сцепления C, угла внутреннего трения φ и объёмного веса грунта γ. Е.Л. приводит следующие зависимости:

$$Z_{0(min)} = 2C / \gamma ,$$

$$Z_{0(max)} = 4Ctg (45^\circ + \varphi/2) / \gamma$$

В среднем (по полевым исследованиям Е.Л.) глубина круглоцилиндрических провалов составляет

$$Z_{0(s)} = 2,5Ctg(45^\circ + \varphi/2)/\gamma$$

Всё сказанное выше относится к конечной стадии провалообразования. Е.Л. подчёркивает, что в большинстве случаев провалы образуются путём длительного последовательного обрушения пород. Механизм этой фазы провалообразования является лишь условно непрерывным процессом обрушения в массиве рыхлых грунтов, когда прочность грунта на разрыв достигает своего предельного значения. Внезапное образование провала на земной поверхности непосредственно от полости в карстующейся толще имеет место только тогда, когда мощность покровных отложений не превышает 5 – 10 м. Натурные наблюдения Е.Л. за механизмом формирования провалов в карстовых районах Польши оказались в согласии с известной теорией сводообразования над карстовыми полостями в связных грунтах (Jennings, 1966).

Процесс обрушения пород при сводообразовании зависит от многих факторов: прочности, влажности и пластичности грунтов, погодных и гидрогеологических условий, глубины расположения полостей и т.д. Подземный процесс обрушениядвигающегося вверх провала можно представить как дискретный, именно благодаря длительным периодам равновесия (квазипокоя). Е.Л. подметил, что периоды обрушения хорошо согласовываются с периодами снеготаяния, паводков и другими подобными явлениями. Эти выводы впоследствии получили свое однозначное подтверждение при непосредственных наблюдениях провалообразования «изнутри» (в пещерах) (Андрейчук, 1999).

Е.Л. указывал, что детерминистическое описание механизма провалообразования с помощью механики грунтов и скальных пород возможно только при определённой идеализации. Он считал, что в интересах решения практических задач мы должны примириться с этой идеализацией, даже если она не может быть полностью принята механиками-теоретиками. С учётом этого замечания, Е.Л. попытался оценить глубину, с которой может произойти провал в грунтах. Согласно теории М.М.Протодьяконова (1933), над подземной полостью диаметром d и высотой h образуется зона разгрузки давления, которая принимается в форме параболического свода с основанием

$$b = d + h \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi/2)$$

и высотой

$$a = b / \operatorname{tg} \varphi$$

Провал происходит тогда, когда свод достигает нижней границы приповерхностной зоны растягивающих напряжений. Таким образом, максимальная глубина расположения полости, при которой может произойти провал, равна

$$H_{\max} = a + Z_0$$

Е.Л. признаёт, что использовать эти зависимости на практике трудно, так как в практике инженерных изысканий определение геометрических параметров полостей представляет наиболее трудную задачу. К тому же, в условиях гипсового и, особенно, соляного карста, эти параметры изменяются во времени, даже – в течение срока службы сооружения.

В заключении своего доклада на Ганноверском симпозиуме, Е.Л. подчеркнул сложность условий

образования карстовых провалов и влияние на них большого числа факторов. В целом, процесс провалообразования он представляет как движение грунтовой массы, вызванное внешними силами, изменяющимися стохастически, на которые влияют локальные особенности района, также изменяющиеся во многом случайно. В связи с этим Е.Л. делает вывод, что прогнозирование провалообразования должно основываться на стохастических моделях. В поддержку своих выводов он ссылается на работу (Litwinizyn, 1956), в которой была сделана первая попытка обсудить механизм сдвижения грунта в случае провала как стохастический процесс.

Во втором своём докладе в Ганновере «Провалы и оседания поверхности в карстовых районах Польши» (1973а) Е.Л. продолжил тему механизма карстовых деформаций. Он затронул некоторые аспекты карстовых и карстово-суффозионных оседаний земной поверхности. Карстовые оседания он связывает с растворением поверхности карстующихся пород. По его данным, в Польше, закарстованные территории занимают около 8% площади страны. По проведённым измерениям скорость растворения поверхности карстующихся пород составляет ($n \cdot 10^{-2}$ мм/год при $n = 1 \dots 10$). Вследствие такого растворения оседание земной поверхности не представляет опасности для большинства строительных объектов. Кроме таких оседаний Е.Л., выделяет так называемые «карстово-суффозионные» оседания, происхождение которых связывает с избирательным суффозионным перемещением тонких фракций рыхлых покровных отложений в коррозионно-расширяющиеся трещины (растворения), а также в карстовые полости. По скорости оседания такие деформации Е.Л. подразделяет на две группы:

- медленные оседания, скорость которых составляет от ($n \cdot 10^0$) до ($n \cdot 10$) мм/год при $n = 1-2$ (блюдеобразные понижения, занимающие большие территории);

- относительно быстрые оседания со скоростью до ($n \cdot 10^3$) мм/год (воронкообразные понижения, занимающие относительно небольшую площадь).

Такого рода деформации, по наблюдениям Е.Л., в отдельных местах встречаются в больших количествах. Их плотность может достигать нескольких десятков на гектар.

Основываясь на полевых наблюдениях, Е.Л. отмечает, что провалы часто связаны со следующими условиями: 1) наличие древних углублений на поверхности карстующихся пород и зон расширяющихся трещин, сформированных интенсивным растворением; 2) наличие особых гидрогеологических условий, которые способствуют обводнению контакта растворимых и рыхлых пород; 3) формирование в рыхлых отложениях вертикальной циркуляции воды. Эти три условия определяют форму и размеры развивающихся в рыхлых отложениях сводов и характер перемещения обрушающегося из свода материала. По мнению Е.Л., диаметр свода вторичной полости в покровных отложениях напрямую не зависит от размеров полости в карстующихся породах. Вследствие этого, размеры провалов на поверхности земли зависят от размеров полости в карстующихся породах лишь косвенно.

Интересны рассуждения Е.Л. об особенностях механизма обрушения пород непосредственно над карстовыми полостями в гипсах. Такое обрушение представляется как непрерывный процесс изменения изгибной прочности пород кровли, в ходе которого происходит изменение их структуры вследствие процессов растворения, перекристаллизации и скольжения между кристаллами. При этом структурная прочность породы уменьшается. Процесс обрушения в значительной степени зависит от времени, т.е. не определяется постоянными факторами, как это имеет место при деформациях над горными выработками. Это осложняет механизм формирования карстовых провалов. В связи с этим Е.Л. замечает, что задача точного прогноза карстовых провалов даже не может ставиться.

На симпозиуме в Ганновере Е.Л. изложил свой опыт оценивания карстовой опасности в Польше (Liszkowski, 1973a). При этом он в максимальной степени использовал результаты своих исследований в области закономерностей карстовых деформаций. На основании анализа комплекса инженерно-геологических условий закарстованные территории были разделены им на три категории, которые характеризуются следующими признаками:

Категория I. Участки с различной поверхностной и подземной закарстованностью, но без активных деформаций поверхности, с отсутствием провальных воронок. Карст – «недеятельный, ископаемый». Карстовые полости заполнены материалом карстования. Сведений о повреждении сооружений в результате карстовых процессов не имеется, в будущем они также маловероятны. Однако, под нагрузкой, возможны неравномерные осадки оснований сооружений. Здесь возможно строительство без ограничений, хотя и допускаются локальные повышенные затраты в оправданных границах.

Категория II. Участки с повышенной поверхностной (**подкатегория А**) или близкой к поверхности подземной (**подкатегория В**) закарстованностью, но без активных деформаций земной поверхности. Карстование – медленное. Карстовые полости не заполнены. Карстовые деформации в будущем, особенно под воздействием нагрузок от сооружений, не могут быть исключены.

Строительное освоение этих участков (особенно подкатегории В) может натолкнуться на значительные трудности и быть связано с дополнительными затратами. Возможность строительного освоения этих территорий возможно только после детальных предварительных изысканий.

Категория III. Участки с повышенной активностью карстовых процессов, свежими просадками (**подкатегория А**) и провалами (**подкатегория В**). Появление оседаний и провалов в будущем весьма вероятно. Такие участки предварительно считаются непригодными для строительства. Застройка этих участков связана с очень большими дополнительными затратами.

Весьма важная с точки зрения инженерного карстования работа под названием *Морфогенетические типы и механизмы*

формирования поверхностных карстовых форм в покрытом карсте Польши (Typy morfogenetyczne oraz mechanizmy rozwoju powierzchniowych form krasu zakrytego w Polsce, Biuletyn Geologiczny, t. 23, Warszawa, str. 155-167) была опубликована им в 1979 году в Геологическом Бюллетене. В этой работе, на основании разных комбинаций главных факторов карстообразования (литологии карстующихся пород, характера их трещиноватости и закарстованности, водопроницаемости и мощности покровных некарстующихся отложений, а также гидрогеологических условий) им выделено 16 геолого-гидрогеологических моделей карста, из которых 6 являются наиболее типичными для покрытого карста Польши. Они были тщательно проанализированы с точки зрения механизмов формирования карстообусловленных деформаций (оседаний и провалов) земной поверхности. Отмечается, что механизм и динамика деформационных процессов всецело определяется геолого-гидрогеологическими условиями участка. От их механизма же и динамики зависит форма и размеры возникающих деформаций.

В этой работе им выделено (для 6 описанных морфогенетических типов покрытого карста Польши) 11 механизмов деформаций. Все механизмы отнесены к типу деформаций оседания. К ним он относит и деформации провального вида. Последние Е.Л. описывает как специфическую форму оседаний, характеризующуюся огромной динамикой (скоростью) и разрывом сплошности грунтового массива. При характеристике механизмов деформаций в разных ситуациях-типах карста, он приходит к важному выводу, что лишь в 5 случаях из 11 процессы растворения карстующихся пород играют в формировании деформаций существенную роль. В остальных же 6 случаях они пассивны, и их роль сводится единственно к ускорению процессов фильтрационного деформирования грунтов. Процессы эти он относит к самостоятельной важной группе экзодинамических процессов. При этом подчёркивается, что в случае 6 «пассивно-карстовых» механизмов следует помнить о значительной условности их использования по отношению к поверхностным формам, являющихся результатом этих процессов, определенных как «карстовые». В случае, например, наличия в скальном массиве некарстующихся пород крупных трещин и полостей (тектонических, эпигенетических и т.д.), формы, репродуцированные на поверхности перекрывающих их отложений, выглядели бы точно так же, как «карстовые».

При описании механизмов деформаций, характеризующих тот или иной тип покрытого карста, Е.Л. старается сохранить целостность «содержания и формы» и анализирует, что очень важно, также формы поверхностных карстопроявлений. Ему удается показать, что поверхностная форма, а не только первоначальная, является производной от механизма деформаций и особенностей покровной толщи (мощность, слоистость, наличие водоносных слоев и т.д.). Например, при характеристике форм так называемого (в Польше) «стараховицкого» типа карста, отличающегося типичным суффозионным механизмом формирования воронок, он устанавливает следующие закономерности:

1. Диаметр (D) и глубина (Z) форм возрастают вместе с мощностью покровных рыхлых отложений (h) в соответствии с линейной функцией типа $D = a \cdot h$ или $Z = b \cdot h$, где a и b являются некоторыми коэффициентами линейных функций.

2. Между диаметром (D) и глубиной (Z) суффозионных форм существует отчетливая связь, которая может быть описана уравнением:

$$\operatorname{tg} \varphi_w < \frac{2Z}{D} < \operatorname{tg} \varphi_s,$$

где φ_w и φ_s означают соответственно угол естественного оплывания и угол естественного откоса покровных грунтов. На начальном этапе развития форм угол естественного откоса их склонов близок к углу φ_s , приближаясь на более поздних этапах к углу φ_w . Угол φ_w рыхлых грунтов обнаруживает при этом явную зависимость от их зернистости, окатанности, а также коэффициента пористости.

Тему механизма развития карстово-суффозионных провалов Е.Л. развил в своём докладе на конференции «Карстовые провалы» в Кунгуре (Лишковский, 1994). Такого рода деформации земной поверхности являются результатом обрушения или прогиба кровли вторичных (в сравнении с полостями растворения) «суффозионных» полостей, образовавшихся и развивающихся в покровных отложениях». Е.Л. обращает внимание на то, что в формировании «карстово-суффозионных» деформаций принимают участие различные процессы: собственно суффозия (включая прогрессирующую суффозию), разрыхление и разжижение грунтов, внутренняя эрозия, гидродинамический прорыв и объёмное разжижение грунтов. По мнению Е.Л., достаточным условием образования карстово-суффозионных деформаций является значительная трещиноватость поверхности карстующихся пород.

Характеризуя провальный механизм деформаций (в нескольких версиях – в зависимости от выделенных типов карста), Е.Л. предостерегает от излишних упрощений. Он указывает, между прочим, что нельзя судить о размерах подземных полостей, базируясь на размерах провальных впадин (большие размеры последних могут быть связаны с последующим развитием форм), указывает на эволюционный характер провального процесса в случае значительных мощностей покрова и даже оценивает его скорость (скорость осыпания материала в сводах растущих к поверхности куполов): для слоистых миоценовых глин, перекрывающих гипсы (так называемый «сташовский карст»), она составляет 10^{-3} м/год.

Интересно, что в этой работе Е.Л. выделяет еще один механизм поверхностных деформаций, связанный с воздействием на покровную толщу (снизу) напорных вод из карстующихся пород. Механизм этот впоследствии был подтвержден А.Б.Климчуком и В.Н.Андрейчуком многочисленными примерами на территории гипсового карста Западной Украины (Klimchouk, Andreychouk, 2002).

Проведённый краткий анализ наиболее важных работ проф. Е.Л. Лишковского показывает, по мнению авторов, значимость его вклада в развитие инженерного карстования. Многие сложные проблемы, на которые обратил внимание Е. Л., требуют решения следующим

поколением исследователей. Приведённый ниже список его работ в области карстования несомненно будет полезным в решении этих проблем. Список работ составлен с использованием обстоятельного обзора научной деятельности проф. Е. Лишковского, сделанного его коллегами (Kaczyński R., Kowalczyk A., et al., 2007), а также его супругой Евой Лишковской.

ЛИТЕРАТУРА

Kaczyński R., Kowalczyk A., Stankowski W., Radaszewski R., 2007. Wspomnienia o Profesorze Jerzym Liszkowskim. Geologos 11. Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. S. 19-42.

Андрейчук В.Н., 1999. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы. Прут. 52с.

Klimchouk A., Andrejchuk V. Karst breakdown mechanisms from observations in the gypsum caves of the Western Ukraine: implications for subsidence hazard assessment // International Journal of Speleology. – 2002. –v. 30B (1/4). - P. 53 – 86.

Работы Е. Лишковского в области карстования

Liszkowski J., 1965. Kras doliny Wisły Środkowej i wyżyn przyległych na odcinku Zawichost-Puławy i jego wpływ na zagospodarowanie terenu. Mat. Symp. w Kazimierzu Dolnym: „Geologiczne problemy zagospodarowania Wisły Środkowej od Sandomierza do Puław”, t. 1, s. 81-95, 4 tab., 10 poz. bibl.

Liszkowski J., 1966a. Metodyka regionalnych inżyniersko-geologicznych badań krasu. Przegl. Geol. 4: 167-169.

Liszkowski J., 1966b. Podstawy klasyfikacji zjawisk i procesów krasowych dla potrzeb praktyki inżyniersko-geologicznej i hydrogeologicznej. Przegl. Geol. 5: 225-230, 4 tab., 57 poz. bibl.

Liszkowski J., 1970. Problems and methods in regional engineering-geological research of karst. 1-st Int. Congr. Int. Ass. Eng. Geology, Paris, v. 2, s. 882-894, 4 rys, 1 tab., 23 poz. bibl.

Liszkowski J., 1973 a. Erdfaelle und Bodensenkungen der Karstgebiete Polens: Ihre Verbreitung und Genese. Proc Int. Symp. Int. Ass. Eng. Geology: „Sink-holes and subsidence: engineering-geological problems related to soluble rocks”, Hannover, sect. 1, s. E1-E7, 3 rys, 11 poz. bibl.

Liszkowski J., 1973 b. Bemerkungen ueber die Geomechanik von Erdfaellen. Proc Int. Symp. Int. Ass. Eng. Geology: „Sinkholes and subsidence: engineering-geological problems related to soluble rocks”, Hannover, sect. 2, s. F1-F5, 14 poz. bibl.

Liszkowski J., 1974. Zu einigen Problemen der Spelaeogenese. Memoria XI di Rassegna Speleologica Italiana, vol. II, Como, s. 33-38, 15 poz. bibl.

Liszkowski J., 1975. The influence of karst on geological environment in regional and urban planning. Buli. Int. Ass. Eng. Geology 12: 49-51, 18 poz. bibl.

Liszkowski J., 1975. Wpływ krasu na środowiska geologiczne w aspekcie możliwości różnorodnego zagospodarowania terenu. Aktualne problemy geologii inżynierskiej. Mat. zebrane z okazji II Miedz. Kongr. IAEG. Wyd. Geol., Warszawa, s. 37-52.

Liszkowski J., 1975. The influence of pressure on kinetics of karst processes. Ann. Speleol. 30, 4: 709-710.

Liszkowski J., 1976. Ist die Mischungskorrosion die einzige im phreatischen Bereich der Karstgrundwasserleiter wirksame Korrosionsform? Proc. 6-th Int. Congr. of Speleology, Olomouc-1973, vol. III, sect. Bb, publ. 024, s. 193-198, Academia Praha, 16 poz. bibl. ang. res.

Liszkowski J., 1976. Lithologie und Chronologie der Fossilen Terrae-Calcis-Boden der Karstgebiete des Mittelpolnischen Hochlandes. Proc. 6-th Int. Congr. of Speleology, Olomouc-1973, vol. III, sect. Bb, publ. 024, s. 193-198, Academia Praha, 16 poz. bibl. ang. res.

- Liszkowski J., 1977. Prawidłowości i odrębności hydrauliki krasowej. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW 21: 29-51, 2 ryc, 65 poz. bibl.
- Liszkowski J., 1979. Typy morfologiczne oraz mechanizmy rozwoju powierzchniowych form krasu zakrytego w Polsce. Biul. Geol. UW 23: 155-168, 2 ryc, 15 poz. bibl.
- Jankowski J., Liszkowski J., 1981. Rozwój procesów krasowych w otoczeniu i podłożu zbiornika wodnego Przeczycze oraz wpływ tych procesów na warunki eksploatacyjne zbiornika. Mat. I Kraj. Konf. „Techniczna kontrola zapór”, listopad 1981, t. 4, s. 45-53, 1 ryc. Wyd. IMGW, Warszawa.
- Liszkowski J., Pulina M., 1982. Metodyka badań inżyniersko-geologicznych i hydrogeologicznych obszarów krasowych dla potrzeb budowy zapór i zbiorników wodnych. Mat. I Kraj. Konf.: „Techniczna kontrola zapór”, listopad 1981, t. 3, s. 78-90, 5 poz. bibl. Wyd. IMGW, Warszawa.
- Liszkowski J., 1988. O możliwości rozróżniania wód krasowych od krasowo-szczelinowych i szczelinowych. Prace Nauk. Uniw. Śl. nr 856, Geologia, t. 9, s. 72-88, 3 ryc, 1 tab., 3 poz. bibl. Wyd. U.ŚL, Katowice.
- Liszkowska E., Liszkowski J., 1989. Ocena mikro- i makrohydraulicznych parametrów masywów szczelinowo-krasowych dla potrzeb hydrogeologii. Mat. Konf. Nauk.: „Wody szczelinowo-krasowe i problemy ich ochrony”, Karniowice, wrzesień 1989, s. 14-22. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- Liszkowska E., Liszkowski J., 1992. Przyczyny nasilonej ujemnej retencji wód podziemnych w masywach węglanowych. Mat. Sympozjum: „Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski”, Pokrzywna, 10-12 września 1992, s. 79-85, Wrocław.
- Liszkowski J., 1994. Distribution and effects of land subsidence in Poland. Proc. VII Int. Congress IAEG, Lizbona, Balkema (Rotterdam), s. 1891-1898.
- Liszkowski J., 1995. On the mechanisms and kinematics of drift dolines formation. Acta Carsologica XXIV: 335-345, 2 ryc, 14 poz. bibl., Ljubljana.
- Liszkowska E., Liszkowski J., 1995. Influence of vertical crustal movements on karst hydraulics and the karstification process. Acta Carsologica XXIV: 347-354, 9 poz. bibl., Ljubljana.
- Liszkowska E., Liszkowski J., 2001. Wpływ ekstremalnych warunków hydrogeologicznych na reżim ciśnienia piezometrycznych w wodonościach krasowych. W: Bocheńska T., Staško S. (red.), Współczesne problemy hydrogeologii X, t. 1, s. 201-208, 2 ryc, 9 poz. bibl., Wrocław.
- Тыс А., Андрейчук В., Liszkowski J., 2005. Remarks on collapse and subsidence formation in karst - hazards and risks. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 07655, European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 24-29 April 2005.
- Лишковский Е.Б 1994. О механизмах развития так называемых карстово-суффозионных провалов. Тезисы докладов конференции “Карстовые провалы” Кунгур, Россия. С.12-14.

Неопубликованные работы по карсту

- Liszkowski J., 1967. Kras wapieni górnourajskich północno-wschodniego mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i jego inżyniersko-geologiczna ocena. Praca doktorska, 192 s. tekstu, tab., ryc, mapy, fot., 130 poz. bibl. Archiwum Inst. Hydrogeol. i Geol. UW, Warszawa, maszynopis.
- Liszkowski J., 1967. Ocena wpływu krasu na inżyniersko-geologiczne warunki projektowanej eksploatacji złoża węgla brunatnego „Bełchatów” i zagospodarowania terenu, 43 s. Tekstu, ryc, tab. Archiwum CUG, Warszawa.
- Liszkowski J., 1971. Inżyniersko-geologiczne warunki podłoża budowlanego na obszarach występowania gipsów w Niece Nidziańskiej, 76 s, tekst, mapy, ryc, tab. Archiwum Wydziału Geologii WRN w Kielcach, maszynopis.
- Liszkowski J., Pulina M., 1981. Metody badań inżyniersko-geologicznych i hydrogeologicznych obszarów krasowych dla potrzeb budowy zapór i zbiorników wodnych, 35 s. tekstu, mapy, przekroje, ryc, Arch. IMiGW, Warszawa.
- Liszkowski J. i in., 1999. Dokumentacja geologiczna badań hydrogeologicznych i pomiarów osiadań powierzchni terenu wykonanych w 1999 roku na obszarze katastrofy górniczej kopalni soli w Wapnie, gmina Wapno, powiat wągrowiecki, woj. wielkopolskie wraz z programem dalszych prac i badań, 89 s. tekstu, 11 zał. graf., 3 zał. tab., 9 ryc., 60 poz. Bibl. Arch. WUW, Poznań (kierownik tematu).