

УДК 551.435.8

DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-74-83

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ КОТЛОВИН ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МЕЩЁРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ: ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

© 2017 г. А.В. Мохов¹

Аннотация. Происхождение многих озерно-болотных, прежде всего так называемых астроблемо-видных, котловин Мещёрской низменности служит предметом длительной дискуссии. Морфологические и морфометрические особенности (характерны овальная или округлая форма в плане, сегментированность, поднятия и впадины дна, часто большая глубина, серийное размещение, наличие опоясывающего вала) котловин позволяют ряду исследователей отдавать предпочтение гипотезе метеоритного происхождения, несмотря на отсутствие здесь в большинстве случаев внеземного вещества. Ими установлена определенная корреляция некоторых параметров котловин с элементами геологического строения низменности. Вместе с тем известны представления о карстовом и ином, включая полигенетическое, происхождении. Присутствие неглубокозалегающих водорастворимых пород определяет приоритетное направление исследований – изучение влияния карста. В пределах региона известны карстовые провалы поверхности, которые образовались на глазах людей. Изучение геолого-гидрогеологических литературных данных позволило обнаружить признаки малоамплитудных вертикальных смещений дна, морфологическое и морфометрическое сходство озерно-болотных котловин центральной части низменности и мульд сдвижения земной поверхности над выработанным пространством угольных и сланцевых шахт, типологическую близость структуры области сдвижения горного массива и зон карстовых нарушений низменности. Важное значение имеет выявленное совпадение вертикальной проницаемости толщи юрских глин в основании озер и болот, то есть над карстовыми полостями, и глинистых пород (аргиллитов и алевролитов) над выработанным пространством шахт внутри зон водопроницающих трещин сдвижения (коэффициент вертикальной фильтрации находится на уровне 0,003 м/сутки). Геомеханические и геологические данные указывают на образование большинства котловин в основном путем многоактного прогиба либо провала свода карстовых полостей. Для формирования воронковидных депрессий рельефа необходим вынос покровных отложений по карстовым каналам. Карстовый генезис многих озерно-болотных и торфяных массивов Центральной Мещёры объясняет пространственное тяготение их к области неглубокого залегания поверхности карстующихся известняков и доломитов касимовского горизонта каменноугольного возраста, а также известные корреляционные связи параметров котловин с природными факторами. На основе этих представлений расшифрована эволюционно-морфологическая этапность развития котловин у эпицентра карстообразования.

Ключевые слова: Мещёрская низменность, озерно-болотные котловины, карстовый генезис.

ABOUT ORIGIN OF LACUSTRINE-SWAMPY DEPRESSIONS OF THE CENTRAL PART OF THE MESHCHERA LOWLAND: HYDROGEOLOGICAL AND GEOMECHANICAL DATA

A.V. Mokhov¹

Abstract. Origin of many lacustrine-swampy, first of all, so called astroblame-like, depressions of the Meshchera lowland serves as a subject of a long discussion. The morphologic and morphometric peculiarities (characteristic oval or rounded shape in plan, segmentation, elevations and hollows of the bottom, often

¹ Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук (Institute of Arid Zones, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: mokhov_av@mail.ru

large depth, serial allocation, presence of engirdling swell) of the depressions allow many researchers to give preference to a hypothesis of the meteoritic origin, despite of absence here, in the most cases, of the extraterrestrial matter. They have established a certain correlation of some parameters of the depressions with elements of the lowland geological structure. At the same time, the ideas about karst and other, including polygenetic, origin are known. Presence of shallow-lying, water-soluble rocks determines the priority direction of the research – studying of karst influence. Within the limits of the region there are some examples of karst downfalls of the surface formed in front of people. The study of the geological-hydrogeological literature data allowed to discover indications of small-amplitude vertical dislocations of the bottom, morphologic and morphometric likeness of the lacustrine-swampy depressions of the lowland central part and subsidence troughs of the Earth's surface above the worked out space of coal and shale mines, typological proximity of structure of rock subsidence area and karst disturbance zones of the lowland. Great importance is attached to the revealed coincidence of the vertical permeability of the strata of Jurassic clays in the base of lakes and swamps (that is over the karst caverns), and clayey rocks (argillites and aleuolites) above the worked out space of mines inside the zones of water-conductive subsidence cracks (the vertical filtration coefficient is at the level of 0.003 m/day). The geomechanical and geological data point out at formation of the majority of depressions mainly by multiple sagging or collapse of the karst cavity domes. For formation of funnel-like depressions of relief, the carrying away of overburden deposits along karst channels is necessary. The karst genesis of many lacustrine and swampy masses of the Central Meshchera does explain their spatial attraction to the area of shallow occurrence of the surface of karsted limestones and dolomites of the Kasimov horizon of Carboniferous age, and also the known correlation links of the parameters of the depressions with the natural factors. On the base of these conceptions the evolutionary-morphological development landmarks of the depressions at the epicenter of karst formation was revealed.

Keywords: Meshchera lowland, lacustrine-swampy depressions, karst genesis.

ВВЕДЕНИЕ

Происхождение многих озерно-болотных котловин Московского региона в целом и Мещёрской низменности в частности служит предметом оживленной дискуссии.

Особое внимание привлекают так называемые астроблемовидные котловины, имеющие, по мнению ряда специалистов, явные морфологические признаки структур ударного происхождения. Будучи довольно многочисленными – в пределах Мещёрской низменности выявлено только крупных, диаметром от нескольких сотен метров, котловин около 10, в Московском регионе всего до 40 единиц, – они имеют вполне изометричную, обычно овальную или округлую, форму в плане, опоясывающий вал, сегментированность, поднятия и впадины дна, часто большую глубину (десятки метров) и серийное размещение [1; 2].

Существуют представления о метеоритном, криогенном, озерно-ледниковом и карстовом генезисе этих и иного облика котловин. Отмечена возможность их полигенетического происхождения. Присутствие вземного вещества внутри котловин в большинстве случаев не обнаружено [1; 3].

Кроме дискуссионности происхождения остаются неясными взаимосвязи морфологии и морфометрии, других характеристик занятых озерами и болотами депрессий различного облика.

Настоящая статья посвящена выявлению генезиса ряда озерно-болотных котловин центральной части Мещёрской низменности на основе исследования приведенных в литературных источниках косвенных данных о связи их характеристик с комплексом геологических, геоморфологических и иных особенностей территории.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИТОРИИ

Озера и болота часто образуют здесь единые массивы. Котловины различного облика – от глубоких разной формы (часто воронковидных) до мелких с плоским дном – могут соседствовать. Наиболее крупные из них тяготеют к низинам рельефа и долинам рек, преимущественно наследующих ложбины стока ледниковых вод [1]. Для озер Центральной Мещеры характерна сильная неровность твердого дна, о чем свидетельствуют отдельные грядобразные отмели, выступающие из-под сапропеля, и небольшие островки [2].

Характерной особенностью низменности является повсеместное распространение неглубоко залегающего пологого падения массива карстующихся известняков и доломитов каменноугольного возраста. Он перекрыт плащом юрских аргиллитоподобных глин с прослоями песков, меловых и четвертичных отложений преимущественно песчаного

состава [4]. Максимальная закарстованность при-
суща верхам карбонатного массива – касимовско-
му горизонту мощностью до 6 м. В районах озер-
но-болотных и торфяных массивов отмечается по-
вышенная проницаемость каменноугольной толщи
и юрских глин, преобладает восходящая разгрузка
подземных вод карстующейся части разреза [4; 5].

Диаметр астроблемовидных котловин регио-
на имеет положительную корреляцию с глубиной
залегания поверхности образований каменно-
угольного возраста, то есть с мощностью мезозой-
ско-кайнозойского покрова. Коэффициент парной
корреляции равен 0,53 (до 0,80 для наиболее четко
выраженных структур) [1].

Озерно-болотные и торфяные массивы Цен-
тральной Мещёры тяготеют к участкам неглубо-
кого залегания поверхности каменноугольных от-
ложений (30–50 м) [4; 5]. Мощность юрских глин
составляет здесь 30–40 м, более молодых отложе-
ний – до 15 м. Донная часть наиболее глубоких
(около 30–50 м) озер находится у поверхности или
внутри карбонатного массива.

Присутствие неглубоко залегающих водора-
створимых пород определяет приоритетное на-
правление исследований по выявлению генезиса
котловин – изучение влияния карста. Такой подход
продиктован неизбежным развитием на гумидных
равнинных территориях с аналогичным геологи-
ческим строением карстовых процессов, которые
способны создать (и создают) в этих условиях
округлые в плане понижения рельефа различного
масштаба, вплоть до весьма крупных, от мелких
и отлогих до глубоких воронковидных с крутыми
стенками. Их появление связано со смещением гор-
ного массива в карстовые полости.

Занятые водоемами или сухие котловины такого
происхождения широко известны на подобных тер-
риториях.

Возникающие депрессии могут иметь соизме-
римые с котловинами Мещёрской низменности или
превосходящие площадь и глубину, сходную мор-
фологию и морфометрию.

В пределах региона известно значительное ко-
личество карстовых провалов поверхности, причем
последние нередко образуются на глазах людей.
В центральной части Мещёрской низменности на-
личие карстовых полостей, в том числе выполнен-
ных глинами из толщи юрского возраста, установ-
лено бурением [5]. Карстовые структуры распро-
странены также в восточной части низменности,
так называемой Сухой Мещёре, для которой ха-

рактерно высокое залегание поверхности каменно-
угольных отложений [2; 4].

В геологической литературе возникновение
ряда озер и болот Центральной Мещёры часто свя-
зывается с карстовыми процессами [4 и др.]. В ра-
боте [5] прямо указано на формирование глубоких
(до 47 м) Белых озер над сильно закарстованными
известняками при «просадке» и возможном «пол-
ном провале» глин с последующим их выносом по
карстовым каналам.

В этой связи отметим, что сходным путем фор-
мируются при сдвигении горных пород депрессии
поверхности над подземными выработками на ме-
сторождениях твердых полезных ископаемых. По
своей конфигурации и глубине мульды сдвигения
могут рассматриваться как морфологические и
морфометрические аналоги многих озерно-болот-
ных котловин [6].

Остановимся на характеристике некоторых
аспектов процесса сдвигения массива на угольных
месторождениях в условиях пологого залегания
слоев, что представляет большой интерес для ре-
шения вопроса о генезисе котловин низменности.

СТРУКТУРЫ СДВИЖЕНИЯ НА ПОЛЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Характер, конфигурация, площадь и глубина
депрессий поверхности отражают картину геоме-
ханических процессов, которые могут развиваться
по различным траекториям, рассмотренным в рабо-
те [6].

Сдвигение массива развивается при достиже-
нии выработкой некоторых пороговых размеров
в плане. Максимальное развитие оно получает на
участках очистной выемки с обрушением кровли.
Здесь происходит резкое, вплоть до обрушения,
смещение прилегающего к выработке массива,
несвязный прогиб более удаленных областей, при
значительной мощности потолочины – субсвязное
опускание ее приземной части. Осевшая область
имеет в первом приближении форму опрокинутой
усеченной пирамиды, опирающейся на горную вы-
работку.

Возможно опускание областей подработанной
толщи по дизъюнктивным контактам вдоль границ
выработанного пространства – проваливание – с
выходом зоны обрушения на земную поверхность.
Осевшая часть потолочины часто имеет вид парал-
лелепипеда или усеченной пирамиды.

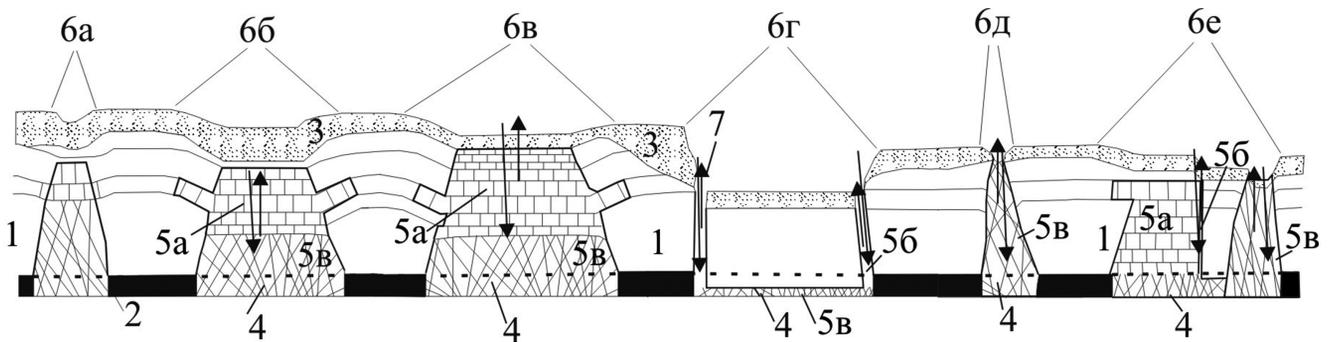


Рис. 1. Схема деформаций сдвижения массива над горной выработкой на участках подземной разработки угольных месторождений (вертикальный разрез) (по [6], с изменениями и дополнениями): 1 – угленосный массив; 2 – угольный пласт; 3 – покровные отложения; 4 – горная выработка с обрушенными породами; 5 – водопроницающие деформации сдвижения (5а – объемнораспределенные трещины, 5б – трещины обреза, 5в – обрушенные породы); 6 – мульды сдвижения земной поверхности (6а – чашевидная, 6б – тарелковидная (водопроницающие трещины не распространяются на всю мощность толщи твердых пород), 6в – тарелковидная (водопроницающие трещины распространяются на всю мощность толщи твердых пород), 6г – ящиковидная, 6д – воронковидная, 6е – комбинированная); 7 – потоки воды

Fig. 1. Scheme of deformations of subsidence of the mass above the mine working at the areas of underground mining of coal deposits (vertical section) (by [6] with changes and supplements): 1 – coal-bearing mass; 2 – coal seam; 3 – cover deposits; 4 – mine working with collapsed rocks; 5 – water-conducting subsidence deformations (5a – bulk distributed cracks, 5б – edge cracks, 5в – collapsed rocks); 6 – cauldrons of the Earth surface (6a – cup-like, 6б – plate-like (water conductive cracks spread to full thickness of the hard rock mass), 6в – plate-like (water conductive cracks spread at full thickness of the hard rock mass), 6г – box-like, 6д – funnel-like, 6е – combined); 7 – water flows

Зависание потолочины узких выработок может нарушаться как проваливанием, так и путем куполения – последовательного выпадения породных кусков с поступательным подъемом свода обрушения и возможным выходом его на поверхность.

В общем случае в кровле выработок формируются зоны обрушения, несвязного и связного прогиба пород. Принципиальная схема деформационной структуры потолочины в разрезе представлена на рисунке 1.

Мульды сдвижения поверхности могут иметь в разрезе чашевидную, тарелковидную, ящиковидную, воронковидную и комбинированную форму (рис. 1), отвечающую различным траекториям смещения приземной части массива. Над соседними выработками они могут соединяться. Над выработками небольшого размера и между смежными выработками остаются участки мало осевшей поверхности, часто в виде гребней.

Площадь оседания охватывает плановую проекцию выработки (характерно для разработок на средних глубинах) или вписывается в нее (при ведении горных работ на небольшой либо, напротив, на значительной глубине и в некоторых других ситуациях), имея обычно округлую форму (рис. 2).

При прогибе массива над одиночной очистной выработкой обычной прямоугольной формы мульда имеет в плане очертания овала, вытянутого вдоль длинной оси выработанного пространства. Над

техногенной полостью более сложных контуров участок оседания имеет в целом округлую форму. Округлость мульды является результатом последовательного обламывания и/или перегиба смежных частей потолочины по кратчайшим направлениям (рис. 3).

В условиях большой мощности надугольной толщи твердых пород вероятны прогиб верхней части массива и образование чашевидной, переходящей – при большом соотношении размеров выработанного пространства в плане и глубины выемки – в тарелковидную мульды с широкими пологими бортами и равномерной по величине оседания донной частью – «плоским» (в рельефе – не обязательно ровным и горизонтальным) дном. Ее глубина не превышает 1,5 м при выемке одного пласта даже значительной мощности, то есть формировании высокой техногенной полости в массиве. При разработках на небольших и средних глубинах область прогиба расширяется к земной поверхности (рис. 1). Соответственно, рост глубины разработки благоприятствует до известного предела образованию мульды большей площади.

Способность массива к саморегуляции сдвижения и деформаций ведет к снижению разнообразия формы мульды, отставанию оседания поверхности от вынужденной мощности и порождает тенденцию его приближения для толщ глинистого состава к 1,1–1,2 м в широком диапазоне значений данного

фактора [7]. При повторном ведении эксплуатации и в других ситуациях, когда способность к саморегуляции ослаблена, возможно более значительное оседание, срыв прогиба в провал, появление мульд провального и воронковидного облика.

Проваливание создает часто мульды ящикоподобного вида и характерно для очистных работ на малых глубинах и с большой вынужденной мощностью. При этом могут возникать также заполненные кусками пород воронки. Признаками провала служат обрывистость бортов мульды и/или величина оседания поверхности свыше 1,5 м при выемке одного пласта и незначительное оседание прилегающей площади, высокая скорость смещения поверхности (до нескольких десятков сантиметров в минуту).

Размеры мульд провального вида с ростом глубины разработки снижаются.

Другим механизмом формирования воронки является куполение, получающее свободное развитие при естественном или принудительном удалении опоры потолочины – породной массы и крепи. Ее исчезновение, например, вследствие суффозии, вызывает новое смещение массива с углубкой депрессии, возможным формированием и расширением провалов и воронок. С развитием данного процес-

са связано оседание поверхности у устья скважины, осуществляющей выпуск воды из затопленной шахты «Комиссаровская» (Восточный Донбасс). Величина оседания устья в течение 2 лет составила около 0,7 м и продолжает нарастать, отражая опускание кровли выработок в результате выноса водным потоком породной взвеси, особенно у ствола скважины [8].

В случаях изменения размеров выработанного пространства и других факторов возможны смена характера сдвижения и появление участка мульды иного облика и глубины. Неглубокие отлогие части могут соседствовать с местным площадным провалом и воронкой.

Характерные формы мульд сдвижения земной поверхности в плане иллюстрирует рисунок 2.

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЗОНЫ СДВИЖЕНИЯ

Сдвигению сопутствует формирование трещин, каверн и других пустот. В случае обрушения и/или несвязного прогиба всей подработанной толщи эти пустоты распространяются от выработки до поверхности и, становясь водопроницаемыми, служат

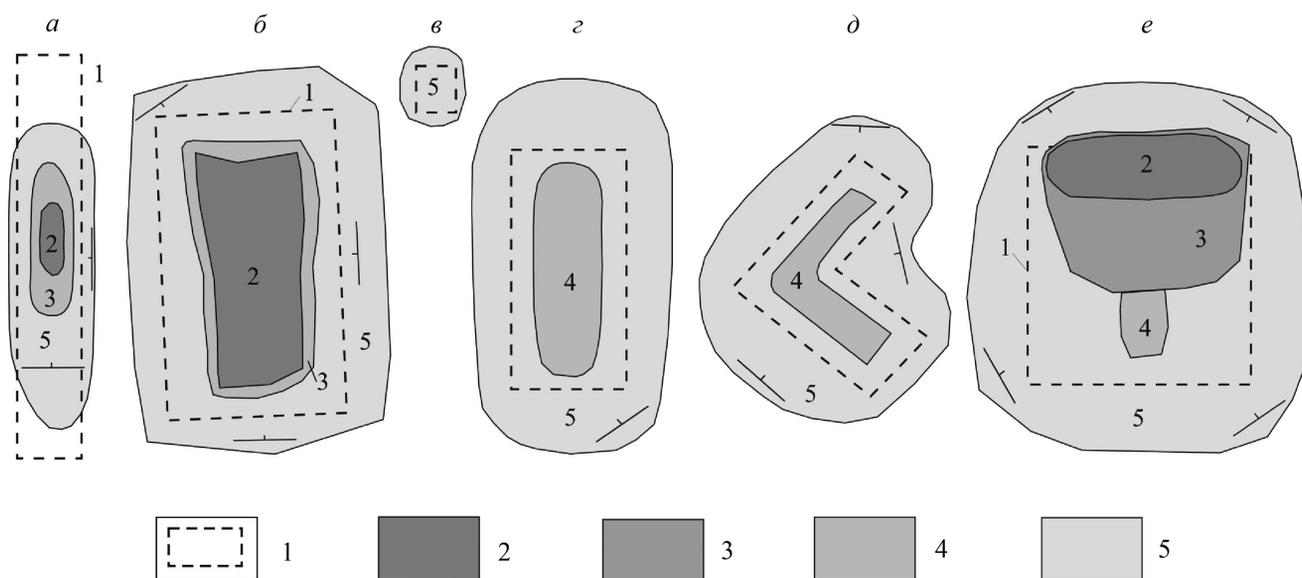


Рис. 2. Форма мульд сдвижения земной поверхности над выработками угольных шахт (в плане): а – воронковидная; б – ящико-видная; в – чашевидная; г – тарелковидная над прямоугольной выработкой; д – тарелковидная над непрямоугольной выработкой; е – комбинированная. 1 – контур выработки; 2 – участок максимального оседания; 3 – участок значительного оседания; 4 – участок средней степени оседания (плоское дно мульды); 5 – участок умеренного и минимального оседания (полого-наклонный борт мульды)

Fig. 2. Shape of cauldrons of the Earth surface above coal mine workings (in plan): а – funnel-like; б – box-like; в – cup-like; г – plate-like above the rectangle working; д – plate-like above the non-rectangle working; е – combined. 1 – working outline; 2 – area of maximal sagging; 3 – area of sufficient sagging; 4 – area of mean stage of sagging; 5 – area of moderate and minimal sagging (gently sloped board of cauldron)

каналами поступления подземных, поверхностных и метеорных вод в шахту, при ее затоплении – выделения отсюда шахтных вод (рис. 1).

Вторичная проницаемость массива наиболее высока в зоне обрушения. По мере удаления вверх от выработанного пространства ее прирост становится незначительным и может прекратиться.

Высокой водопроницаемостью выделяются структуры сдвижения в основании провальных и воронковидных и аналогичных участков мульды комбинированного облика. Проницаемость провала максимальна вдоль его контура в плане, где вдоль сместителей техногенных сбросов возникают трещины обреза (рис. 1). Морфологически и по своим функциональным возможностям воронки и трещи-

ны обреза соответствуют таким известным природным объектам, как поноры и сифонные каналы.

В придонной части тарелковидных мульд находятся системы формирующихся при прогибе пород водопроницающих трещин, довольно равномерно рассеянных в массиве и названных по этой причине объемнораспределенными. В случае выхода трещин на земную поверхность или под проницаемые отложения инфильтрующая/водовыводящая площадь приурочена к «плоскому» дну мульды. Внутри верхней и средней частей зоны трещин данного вида слои глинистых пород (аргиллитов и алевролитов) приобретают при этом вторичную проницаемость в направлении нормали к напластованию на уровне, отвечающем значению коэффициента фильтрации около 0,003 м/сутки [6; 9].

Такие трещины образуются в слоях твердых глинистых пород при реализации одного цикла оседания на 1,1–1,5 м [7]. Высота распространения трещин над выработанным пространством обычно не превышает 30–40 вынутых мощностей при разработке первого угольного пласта.

Аналогичные образования и формирующие их процессы известны в пределах Мещёрской низменности и на других объектах.

Как можно судить, например, на основании материалов по Ленинградскому месторождению горючих сланцев [10], внутри карстовых нарушений имеются признаки обрушения, несвязного и связанного прогиба пород и соответствующих зон деформаций. Таким образом, деформационная зональность областей сдвижения и карстовых нарушений аналогична [6].

Исследование проницаемости горного массива в основании котловин Центральной Мещёры подтверждает правомерность вывода об аналогии и дает дополнительные данные для выяснения их генезиса и характеристик.

ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ И СЛЕДСТВИЯ

Являясь региональным водоупором, толща юрских глин имеет на участках озер и болот, то есть над сильно закарстованными массивами, заметную вертикальную проницаемость [5]. Здесь установилась гидравлическая сообщаемость карстовых полостей с приземными слоями и элементами гидросети, происходит восходящая разгрузка подземных вод каменноугольных отложений. Их вероятной причиной служит наличие в глинах открытых

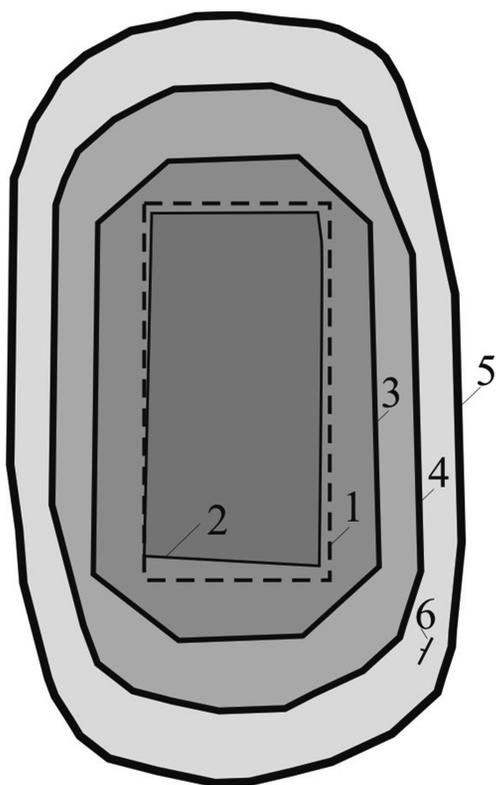


Рис. 3. Принципиальная схема формирования округлости мульды сдвижения отдельных частей массива и земной поверхности: 1 – контур выработки; 2 – контур участка оседания массива в кровле выработки; 3 – контур участка оседания вблизи кровли выработки; 4 – контур участка оседания на среднем удалении от кровли выработки; 5 – контур участка оседания земной поверхности; 6 – наклон поверхности мульды

Fig. 3. Schematic diagram of roundness formation of separate parts of the mass and of Earth surface: 1 – outline of the working; 2 – outline of the mass subsidence area in the roof of the working; 3 – outline of the subsidence area near the roof of the working; 4 – outline of the mass subsidence area at the mean distance from the roof of the working; 5 – outline of the subsidence area of the Earth surface; 6 – inclination of the cauldron surface

трещин субвертикальной ориентировки со следами скольжения на стенках [5]. Соответственно, подобная дислоцированность служит признаком оседания глин, присутствия карстовых нарушений и полостей.

По данным электрогидродинамического моделирования, вертикальная проницаемость толщи глин низменности на большой площади в бассейне р. Пры отвечает коэффициенту фильтрации от 0,0007 до 0,0011 м/сутки [5]. Согласно выполненному нами пересчету, коэффициент вертикальной фильтрации глин в основании озер и болот, занимающих треть территории, составляет около 0,002–0,003 м/сутки [6]. Правомерность такого вывода и подхода подтверждают оценки этого параметра в пределах соседнего Туголесского озерно-болотного массива, где данный коэффициент равен 0,0025 м/сутки [5].

Как указано выше, тем же значением характеризуется проницаемость полого залегающих слоев полускальных и скальных глинистых пород внутри зон объемнораспределенных водопроводящих трещин сдвижения в направлении нормали к напластованию.

Это совпадение можно считать признаком развития трещин того же вида под котловинами болот и озер Центральной Мещеры. Низкая проницаемость указывает на отсутствие каналов для крупных вертикальных перетоков подземных вод. Для текущего этапа карстообразования характерна закупорка глинистым материалом подводящих к полостям воронкообразных и других крупных проводящих каналов даже на участках сильной и полной деградации покровы юрских глин и обнажения каменноугольных пород на дне озер (Белое и др.).

Таким образом, на основе гидрогеологических данных многие из котловин низменности могут быть уверенно отнесены к карстовым формам, развившимся при прогибе приземной части массива, то есть имеющим карстово-просадочное происхождение.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАЛЛЕЛИ, СЛЕДСТВИЯ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

Приведенные данные дают основания для заключения о подчиненности структур сдвижения на участках подземных разработок и карстовых нарушений общим закономерностям генерации.

Характеристики и ход образования котловин отражают размеры, взаимное расположение, глубину

размещения генерирующих полостей, особенности геологического разреза, аналогично тому, как это происходит на участках подземных углеразработок.

Проводя параллели между объектами рассматриваемых генетических линий, удается объяснить генезис многих котловин низменности (и Московского региона в целом) и ряд их характеристик с единых позиций.

Помимо кинематического подобия трансформации горного массива в ходе сдвижения и образования карстовых нарушений, основанием для такого подхода служит также определенное вещественно-структурное сходство геологического строения низменности и многих месторождений угля с полого залегающими пластами.

Котловины возникают непосредственно над разрушенными одиночными карстовыми полостями и их сериями. Морфология и морфометрия котловин определяются в основном изменением пространственного положения кровли толщи юрских глин. Высота и ширина полости лимитируют глубину образующейся котловины. Изменение высоты и ширины полостей создает возможность для формирования котловин иных размеров и морфологии. Сегментирующие гребни дна водоемов, острова и гряды располагаются над границами смежных полостей и полостями (частями полостей) относительно меньших размеров по высоте и/или в плане, отражая неодинаковость амплитуды либо неравномерность оседания массива. Облом и перегиб консолей потолочины определенным образом придает округлость депрессиям поверхности.

Мелкие озера и болота занимают тарелковидные и чашеобразные котловины или аналогичные с глубиной твердого дна до 1,5–2,5 м части котловин комбинированной формы, которые образуются в условиях прогиба юрских глин. По аналогии с угольными месторождениями появление тарелковидных котловин происходит там и тогда, где и когда возникают условия для смещения подошвы массива глин на площади с минимальными размерами в плане около 40 м × 40 м.

Морфологию карстовых котловин и депрессий поверхности низменности, структуру массива в их донной части иллюстрирует рисунок 4.

Расширение свода прогиба вверх обуславливает прямую связь ширины котловин с глубиной размещения полости, объясняя наличие и положительный характер корреляции диаметра астроблемовидных котловин с мощностью послеканноугольных отложений. Невысокое значение приведенного в

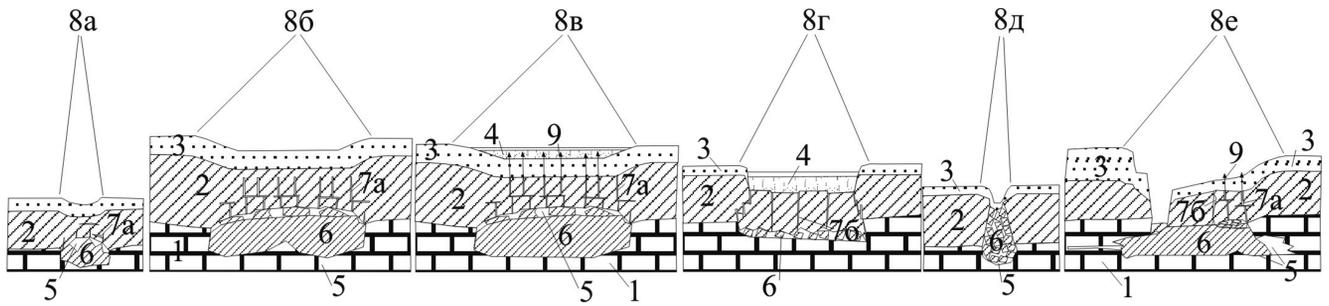


Рис. 4. Озерно-болотные котловины и сухие депрессии рельефа на участках карстовых нарушений Мещёрской низменности (вертикальный разрез): 1 – карбонатные породы каменноугольного возраста; 2 – толща юрских глин; 3 – послейюрские покровные отложения; 4 – илы; 5 – карстовая полость; 6 – юрские глины в карстовых полостях; 7 – трещины сдвижения (7а – объемно-распределенные, 7б – обреза); 8 – котловина или депрессия рельефа (8а – чашевидная, 8б – тарелковидная без выхода объемно-распределенных водопрводящих трещин в кровлю толщи юрских глин, 8в – тарелковидная с выходом объемно-распределенных водопрводящих трещин в кровлю толщи юрских глин, 8г – ящиковидная, 8д – воронковидная, 8е – комбинированного облика); 9 – восходящий поток подземных вод

Fig. 4. Lacustrine-swampy troughs and dry depressions of relief at the areas of karst disturbances of the Meshchora lowlands (vertical section): 1 – carbonate rocks of Carboniferous age; 2 – strata of Jurassic clays; 3 – post-Jurassic cover deposits; 4 – silts; 5 – karst cavity; 6 – Jurassic clays in the karst cavities; 7 – subsidence cracks (7a – bulk distributed, 7b – edge); 8 – trough or depression of the relief (8a – cup-like, 8b – plate-like without outcrop of bulk distributed water-conductive cracks into the roof of the Jurassic clays mass, 8bв – plate-like with outcrop of bulk distributed water-conductive cracks into the roof of the Jurassic clays mass, 8г – box-like, 8д – funnel-like, 8е – of combined shape); 9 – ascending flow of the ground waters

работе [1] коэффициента корреляции обусловлено, по-видимому, присутствием в исследованной выборке кинематически различных объектов, сформировавшихся как в ходе прогиба (количественно преобладают), так и проваливания либо смещения свода в переходном режиме.

Как показывают приведенные выше результаты моделирования, проницаемость глин отвечает их трансформации в режиме несвязного прогиба. Пологость, малая (до 1,5 м) глубина основных частей котловин связаны с подобным смещением кровли толщи глин. Тот же характер имеет в большинстве случаев генерация глубоких пологих котловин (их частей).

Развитие мощного плаща покровных отложений, вписанность пустот в маломощный касимовский горизонт в центральной части низменности делают здесь на текущем этапе карстообразования одноактный генезис глубоких котловин и воронок, тем более сквозных, по геомеханическим соображениям маловероятным или исключительным. Ограниченное распространение воронок, преобладание пологих частей дна указывают на возникновение и эволюцию большинства котловин в основном путем медленного опускания поверхности и постепенного расширения их площади.

Большая глубина неворонковидных котловин является результатом периодического или непрерывного опускания дна при расширении полости

и «удалении» ее заполнителя. Механизм неоднородной углубки может также реализоваться в виде повторных провалов, как это проявилось на ряде озер низменности и других частей региона. Воронки возникают в эпицентре участков продолжительной сосредоточенной суффозии. В пользу таких представлений говорит окружение воронок менее глубокими концентрическими участками дна другого облика с низкой вторичной проницаемостью глин, соответственно, с меньшей трансформацией массива. Имея общее заложение, различные части котловин могут находиться в неодинаковой стадии формирования карстового нарушения.

Присутствие мощной толщи глин способствует заполнению провалов и воронок, препятствуя широкому распространению этих форм рельефа и затрудняя их дальнейшее развитие.

Образование глубоких депрессий предполагает деградацию породного столба над полостью, «уход» покрова в недра и его суффозию, на признаки чего указано в работе [5]. Присутствие в карстовой полости юрских глин свидетельствует о возможности исчезновения карбонатной части ее свода, перемещения покровных отложений в недра путем обрушения.

Формирование сквозных воронок обеспечивается «прободением» толщи глин зоной обрушения или трещинами обреза, с гидравлическим соединением карстовых полостей, послейюрских отложений

и котловин и установлением активного водообмена между ними, что запускает известный процесс просасывания и способствует расширению воронки.

Сходство морфологии и морфометрии мелких котловин (частей котловин) и чаше- и тарелковидных мульд сдвижения, сопоставимость вертикальной проницаемости пород глинистого состава указывают на формирование трещинных структур в результате прогиба массива в полости близких размеров.

Геомеханическая и гидрогеологическая аналогии позволяют установить высоту первичных пустот.

Основываясь на данных о высоте распространения над очистными выработками угольных шахт объемнораспределенных трещин – до 30–40 вынутых мощностей, – можно для условий Центральной Мещёры, где покров юрских глин имеет мощность 30–40 м, сделать вывод о том, что эффективная высота карстовых полостей под неглубокими болотами и мелкими частями озер составляла к началу первого цикла разрушения не более 2,5 и не менее 1,3 м. Подобные ограничения обусловлены тем, что при высоте полости свыше 2,5 м весьма вероятным явилось бы распространение трещин обреза на всю мощность массива глин, при высоте до 1,3 м объемнораспределенные водопроводящие трещины не развились бы столь высоко.

Вместе с тем возможность полного проявления саморегуляции сдвижения и деформаций горного массива с ее нивелирующими тенденциями позволяет допустить участие в формировании котловин одинаковой морфологии и морфометрии разных и сильно варьирующих по размеру пустот, в том числе более высоких, чем указывалось ранее.

Преобладание мелких, глубиной до 1,5 м, котловин и площадей отлогого дна, аттрактивность возникающих структур являются результатом проявления данного эффекта.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОТЛОВИН

Анализ геолого-геоморфологических данных, геомеханическая аналогия указывают на заложение озерно-болотных котловин низменности в виде карстово-просадочных форм, их дальнейшее развитие в ходе прогиба дна с переходом в карстово-провальные, затем – в воронковидные объекты как на реализацию типового сценария.

Площадное распространение и развитие карста создает условия для заложения новых, трансформации существующих депрессий поверхности и озерно-болотных котловин. Развитие котловин, генерация провальных воронок происходит в режиме многоактного смещения дна. Появление высокопроницаемых каналов типа трещин обреза, сквозных каверн в толще юрских глин дает старт активному просасыванию. До настоящего времени этот фактор формирования воронок не получил широкого распространения благодаря буферной роли покрова глин.

Преобладание неглубоких отлогих котловин в центральной части низменности связано с наличием мощной толщи покровных отложений и тяготением карстообразования к довольно тонкому касимовскому горизонту. На ближайших отрезках геологического времени углубка котловин будет ограничиваться положением почвы данного горизонта.

Альтернативные условия Сухой Мещёры, где преобладает мелкий карст, благоприятствуют появлению карстово-провальных депрессий.

Развитие депрессий у эпицентра карстообразования может быть описано следующей эволюционно-морфологической последовательностью: «чашевидная – тарелковидная с отлогими бортами – тарелковидная с провалом – тарелковидная с провалом и провальной воронкой – воронковидная – колодец» с возможным выпадением и совмещением отдельных звеньев. Одновременно происходит распространение по площади от эпицентра структур предшествующих стадий карстообразования.

В целом формированию выраженного карстового рельефа способствует пониженная мощность налегающих покровных отложений, что особенно характерно для участков низин и долин рек.

Приведенные в работе [1] данные об астроблемовидных котловинах показывают, что эти объекты явно принадлежат к выделенным морфологическим видам карстовых структур поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические и геомеханические данные указывают на реальность причинно-следственных связей между глубинным карстообразованием и формированием озерно-болотных котловин и сухих депрессий поверхности Мещёрской низменности.

Депрессии и котловины возникают и развиваются в ходе образования карстовых нарушений. Морфологически и морфометрически котловины

и мульды сдвижения поверхности на участках подземных разработок угольных залежей, вторичная водопроницаемость глинистой потолочины карстовых полостей и очистных выработок шахт тождественны. Генерация структур определяется общим комплексом факторов и развивается по кинематически сходным траекториям.

Проведенные параллели объясняют многие характеристики озерно-болотных котловин Мещёрской низменности и других регионов в аналогичных природных условиях. Их приложение указывает на достаточность карстовых процессов для

обеспечения генезиса, трансформации, типологической близости многих занятых озерами и болотами или сухих депрессий низменности и котловин Московского региона в целом.

Примененный подход имеет методическое значение для изучения и прогнозирования трансформации рельефа земной поверхности, структуры массива в условиях развития карстовых процессов.

Публикация подготовлена в рамках реализации Государственного задания Института аридных зон ЮНЦ РАН, проект № 0259-2014-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронгулеев В.В., Маккавеев А.Н., Макаренко А.Г. 2012. Каталог астроблемовидных котловин Московского региона и некоторые результаты его анализа. *Геоморфология*. 3: 32–43. doi: <http://dx.doi.org/10.15356/0435-4281-2012-3-32-43>
2. Асеев А.А., Веденская И.Э. 1962. *Развитие рельефа Мещёрской низменности*. М., АН СССР: 128 с.
3. Маккавеев А.Н. 2011. Механизм образования некоторых астроблемовидных озер на примере озера Светлое (Московская область). *Геоморфология*. 3: 61–73. doi: 10.15356/0435-4281-2011-3-61-73
4. *Гидрогеология СССР. Т. 1. Московская и смежные области*. 1966. М., Недра: 421 с.
5. Плотников В.С., Гоголь И.Л., Небосенко В.Ф. 1974. Моделирование условий разгрузки артезианских вод в центральной части Мещёрской низменности. *Труды Гос. гидрологического института*. 213: 187–200.
6. Мохов А.В. 2015. К вопросу о проницаемости и фильтрационной структуре зон карстовых нарушений (на примере Мещёрской низменности). *Доклады Академии наук*. 461(5): 554–557. doi: 10.7868/S086956521511016X
7. Мохов А.В. 1998. Закономерная изменчивость скальных пород под влиянием сдвижения на участках подземной выемки угольных пластов с обрушением кровли. *Горный информ.-аналитич. бюлл.* 6: 179–184.
8. Мохов А.В. 2012. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления. *Вестник Южного научного центра*. 8(3): 42–49.
9. Мохов А.В. 2013. О проницаемости горных пород в зоне сдвижения на каменноугольных месторождениях (по материалам подработок затопленных выработок). *Доклады Академии наук*. 452(3): 300–302. doi: 10.7868/S0869565213220192
10. Попов Э.И. 1968. *Исследование карстовых зон и расслоений горных пород на месторождении горючих сланцев с помощью гамма-излучений в связи с определением устойчивости пород: Автореф. дис. ... канд. техн. наук*. Л., ЛГИ: 20 с.

REFERENCES

1. Bronguleyev V.V., Makkaveyev A.N., Makarenko A.G. 2012. [Catalogue of astrobleme-like Depressions of Moscow Region

and some results of its analysis]. *Geomorphologiya*. 3: 32–43. (In Russian). doi: <http://dx.doi.org/10.15356/0435-4281-2012-3-32-43>

2. Aseev A.A., Vedenskaya I.E. 1962. *Razvitie rel'efa Meshcherskoy nizmennosti*. [Development of the Meshchera Lowland Relief]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR: 128 p. (In Russian).
3. Makkaveyev A.N. 2011. [Formation of certain crater-like lake basins: results from the lake Svetloe (Moscow Region)]. *Geomorphologiya*. 3: 61–73. (In Russian). doi: 10.15356/0435-4281-2011-3-61-73
4. *Gidrogeologiya SSSR. T. 1. Moskovskaya i smezhnye oblasti*. [Hydrogeology of the USSR. Vol. 1. Moscow and adjacent regions]. 1966. Moscow, Nedra: 421 p. (In Russian).
5. Plotnikov V.S., Gogol' I.L., Nebosenko V.F. 1974. [Simulation of artesian water leakage condition in the Central Meshchera lowland]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*. 213: 187–200. (In Russian).
6. Mokhov A.V. 2015. The problem of permeability and the filtration structure of karst disturbance zones: evidence from the Meshchera Lowlands. *Doklady Earth Sciences*. 461(2): 330–333. doi: 10.1134/S1028334X15040108
7. Mokhov A.V. 1998. [Regular variability of hard rocks under influence of subsidence at the areas of underground mining of coal beds with roof caving]. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 6: 179–184. (In Russian).
8. Mokhov A.V. 2012. [Hydrodynamic evolution of the cavity of coal mines under the influence of flooding]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 8(3): 42–49. (In Russian).
9. Mokhov A.V. 2013. Rock Permeability in Displacement Zones at Coal Deposits: A Case Study of Underworked Inundated Mines. *Doklady Earth Sciences*. 452(1): 904–906. doi: 10.1134/S1028334X13080035
10. Popov E.I. 1968. *Issledovanie karstovykh zon i rassloeniy gornykh porod na mestorozhdenii goryuchikh slantshev s pomoshch'yu gamma-izlucheniya v svyazi s opredeleniem ustoychivosti porod*. [Investigation of karst zones and delaminations of rocks at the deposit of combustible shales with use of gamma-rays in connection with determination of rocks stability]. *PhD Abstract*. Leningrad: Leningrad Mining Institute: 20 p. (In Russian).

Поступила 28.11.2016