

## ВПАДИНА КУРКОЛЬ: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

А.М. Тюрин

ООО «ВолгоУралНИПИгаз, Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург  
 e-mail: amturin1952@bk.ru

По данным геологической съемки, бурения, сейсмо- и гравиразведки, геохимической съемки, дистанционного зондирования и натуральных наблюдений автора определена геологическая позиция бессточной впадины Курколь, являющейся геоморфологическим памятником. По терригенным надсолевым отложениям ей соответствует грабен, генетически связанный с процессом формирования Буранчинской соляной гряды. В подпочвенном слое впадины ураганное содержание метана, его гомологов и диоксида углерода. Она ярко проявилась в поле температур поверхности земли. Сформулированы геологические гипотезы генезиса впадины, даны рекомендации по дальнейшему ее изучению.

*Ключевые слова:* геология, геофизика, геохимия, ландшафтогенез, степь, бессточная впадина, Оренбургская область.

### Введение

Специалисты Института степи УрО РАН рассматривают каждое степное урочище как уникальное, применяя целостный подход. Он включает геоморфологический, геологический, биологический, экологический, культурно-исторический, экономический и другие аспекты. Одно из степных урочищ – Курколь приурочено к одноименной впадине (Беляевский район Оренбургской области, координаты 52°29'03" N, 56°04'36" E) (рис. 1).

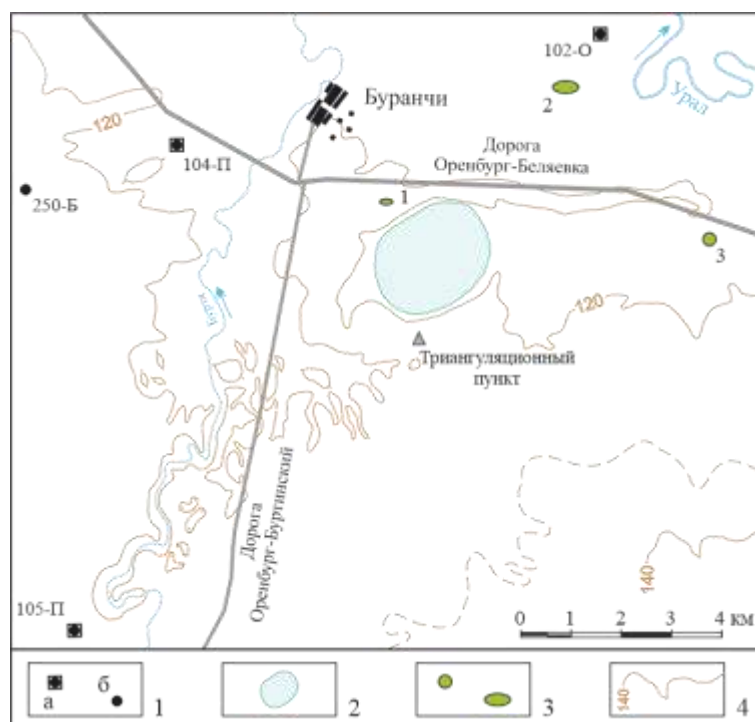


Рисунок 1 – Впадина Курколь. Обзорная схема

*Примечание:* 1 – скважины на нефть и газ: параметрические (а) и поисковые (б); 2 – уплощенная часть впадины; 3 – проявления карста; 4 – изогипсы

Во влажные годы она заполняется водой на 30-50 см. К середине лета превращается в высокотравный влажный луг [1]. Впадина Курколь является геоморфологическим памятником. Находится в пределах Беляевского лицензионного участка. В 2002-2008 гг. ООО «Газпром добыча Оренбург» выполнило на нем геологоразведочные работы на нефть и газ. По полученным данным представилась уникальная возможность достоверно определить геологическую позицию этого природного объекта. Результаты приведены в настоящей статье.

## Материалы и методы

### Фактические данные.

Фактические данные, принятые во внимание при определении геологической позиции впадины Курколь, включают результаты:

- геологической съемки масштаба 1:200000 (В.П. Твердохлебов, 2001 г.);
- бурения параметрических и поисковых скважин на нефть и газ;
- сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) (Л.А. Благосмылова, 2004 г., ОАО «Оренбургская ГЭ»);
- гравиразведки масштаба 1:25000 (М.И. Елманов, 2005 г., ОАО НПО «Нафтаком»);
- геохимической съемки (И.Ф. Мясников, 2005 г., ОАО НПО «Нафтаком»);
- дистанционного зондирования (И.Ф. Ефремов, 2006 г. ЗАО «Центр перспективных наукоемких технологий»);
- натуральных наблюдений автора.

Ссылки на геологические отчеты даны в круглых скобках.

### Рабочие гипотезы.

Озера и бессточные впадины округлой формы являются неотъемлемой частью степных ландшафтов. Это относится и к впадине Курколь. Размеры ее плоской части 1,8×2,2 км. Такие объекты известны и в других природных зонах. Имеется несколько гипотетических моделей их генезиса.

В тектоническом плане впадина Курколь находится в южной части Предуральского прогиба, характеризующейся контрастным проявлением соляной тектоники. Под соляно-тектоническими структурами мы понимаем соляные купола и гряды, а также мульды. В Волго-Уральском регионе и Прикаспии к ним приурочены озера разных конфигураций, размеров и генезиса [2].

По мнению геологов-съемщиков, впадина Курколь имеет карстовую природу. Связана с гипсами кунгурского яруса нижней перми – кепроком соляной гряды (В.П. Твердохлебов, 2001 г.). Это частный случай впадин, генетически связанных с соляно-тектоническими структурами. В Оренбургской области имеются и суффозионные воронки, обусловленные растворением солей в зоне их ненарушенного залегания.

В конце эпохи плейстоцена территория Оренбургской области находилась в перигляциальной гиперзоне со сплошной многолетней мерзлотой мощностью до 200-400 м [3]. Здесь протекали процессы, наблюдаемые сегодня в тундре. По гипотезе А.Г. Рябухи [3-5], крупные плоскодонные понижения рельефа в Волго-Уральском регионе и Прикаспии, занятые мелководными озерами, образовались в конце эпохи плейстоцена в процессе термокарста. Это относится и к впадине Курколь. Отметим, что это единственный объект этого типа, выделенный в оренбургском сегменте Предуральского прогиба.

Одна из гипотез формирования плоскодонных впадин основана на «дегазационной парадигме». При самопроизвольных выбросах метана формируются воронки-колодцы диаметром 4-26 м и глубиной до 100 м. В тундре они за 3-4 года становятся неотличимыми от типичных для нее озер. Метан выделяется из газогидратов при деградации многолетней мерзлоты [6]. Он может иметь и глубинное происхождение [7]. Образование взрывных

воронок-колодцев в тундре – установленный факт. Модель формирования из их ассоциаций округлых озерных впадин диаметром 0,5 км и больше основана на термокарсте [6]. Эти процессы могли происходить на территории Оренбургской области в конце эпохи плейстоцена.

В пределах южного промышленного пригорода Ярославля имеется блюдцеобразное углубление в рельефе (диаметр примерно 600 м), предположительно связанное с астроблемой Железный Борок (координаты 57°32'00" N, 39°45'41" E). Мы рассмотрели его геологическую позицию [8]. Похоже, что это действительно астроблема. Вполне возможно астроблемой является и впадина Курколь. В широком геологическом контексте импактные структуры рассмотрены автором публикации [9].

Таким образом, можно обозначить четыре рабочие гипотезы формирования впадины Курколь. Она связана с особенностями формирования соляно-тектонических структур, в том числе проявлениями карста (1), сформирована системой выбросов метана (2) или процессами термокарста (3), является астроблемой (4).

## Результаты и обсуждение

### Геологическая позиция впадины.

При реконструкции геоморфологической ситуации в урочище Курколь и на сопредельных площадях во внимание приняты результаты геологической съемки (В.П. Твердохлебов, 2001 г.), специальной аэросъемки (И.Ф. Ефремов, 2006 г.) и натуральных наблюдений автора, формы рельефа на географических картах, космофотоснимок (КФС) Google Earth.

Впадина Курколь находится на второй надпойменной террасе Урала, сложенной аллювиальными отложениями неоплейстоцена (суглинки, супеси, пески, гравий, галечники, мощность до 35 м). На юго-востоке склон впадины сопрягается со склоном фрагмента третьей террасы, на юге – с зоной развития аллювиальных и озерных отложений эоплейстоцена (глины, суглинки, супеси, пески, мощность до 25 м). Четвертичные отложения залегают на терригенных отложениях плиоцена (глины, алевролиты, пески, галечники). Мощность отложение неогена достигает 200 м.

Впадина имеет блюдцеобразную форму с пологими равнопадающими склонами и плоской центральной частью. Последняя по КФС имеет округлую форму (рис. 2), вытянутую в северо-восточном направлении. Поверхность плоской части горизонтальная за исключением ее западной зоны. По состоянию на 09.04.2022 г. эта часть впадины была заполнена водой (рис. 3). Поверхность западной зоны слабо наклонена к центру впадины. На КФС уверенно просматриваются устойчивые береговые линии озера. То есть, в прошлом, ее глубина достигала 1-2 м. В плоской части впадины имеются локальные неоднородности округлой формы, проявляющиеся на КФС темным цветом.

Если впадина образовалась на моноклинали, то у нее должны быть три естественных водораздела. На севере она отделена водоразделом от поймы Урала. На географической карте он показан изогипсами (рис. 1). Его восточная часть проявилась на КФС как локальное поднятие. С востока и запада впадину оконтуривают водоразделы с временным водотоком и Буртей. Но явно проявилось локальное поднятие к югу от нее, сложенное супесью с умеренным содержанием песка (залегают под пахотным слоем) эоплейстоцена. Песок полимиктовый в основном мелкозернистый. Но имеются и крупные зерна размером до 1 мм. Со стороны поднятия находится единственная крутая часть склона впадины. Его высота достигает 10-12 м. Поперечные размеры собственно бессточной впадины составляют 3,0-3,2 км.

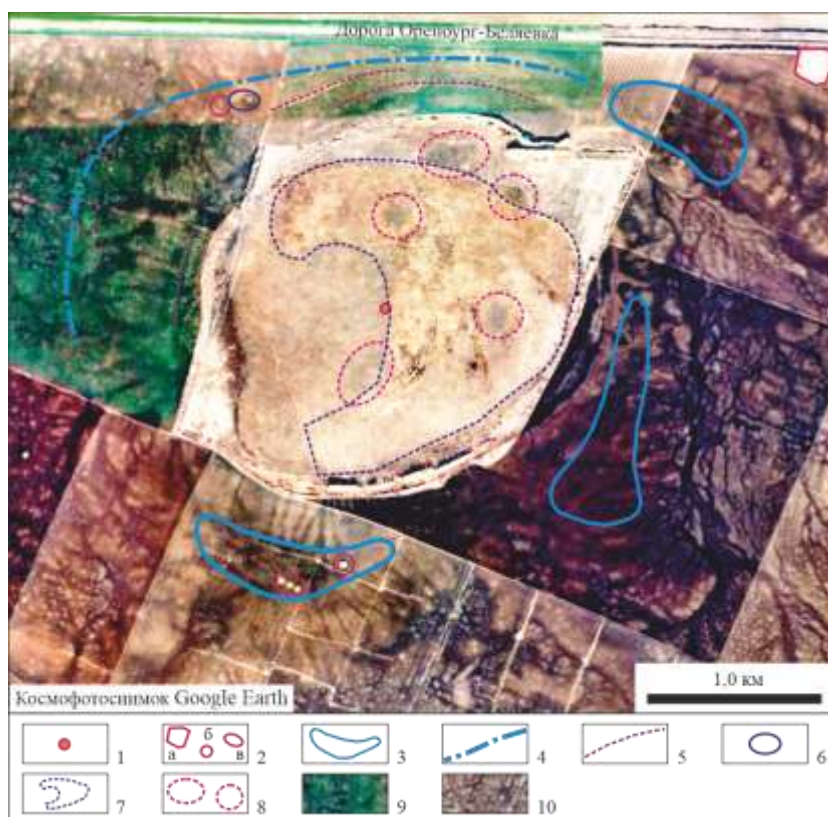


Рисунок 2 – Впадина Куркуль. Геоморфологические элементы на космофотоснимке Google Earth

Примечание: 1 – точка: координаты 51°29'03" N, 56°04'36" E; 2 – казахский курганный могильник (а), одиночные курганы (б), группа курганов (в); 3 – локальные поднятия; 4 – линия водораздела; 5 – устойчивые береговые линии озера; 6 – проявление карста; 7 – плоская часть впадины с горизонтальной поверхностью; 8 – локальные неоднородности в плоской части впадины; 9 и 10 – полигонально-блочные формы рельефа.



Рисунок 3 – Центральная часть озера Куркуль. Фото А.М. Тюрина, 09.04.2022 г.

Поднятие южнее впадины может быть генетически связано с ней. В этом случае следует считать, что впадина по периметру оконтурена кольцевым валом. Но возможно, оно является естественным останцом. Ранжировать эти гипотезы по КСФ и натурным наблюдениям мы не можем. На северо-западном борту впадины выделяется углубление в рельефе. Диаметр 200 м, глубина 3 м. Склоны крутые, но не препятствуют запашке этого участка. По состоянию на 09.04.2022 г. оно частично заполнено водой. Западнее углубления имеется незапаханный провал. По всем признакам это проявления карста. Углубление следует идентифицировать как синклираль оседания («дизъюнктивная мульда»). В пойме Урала северо-восточнее впадины геологи-съемщики выделяют проявление карста. Еще одно выделяется по КФС к востоку от нее (рис. 1). Генетически это синклинали оседания. Северо-восточная – узкая, ориентированная в широтном направлении. Восточная – округлая, диаметр 150 м, глубина 0,7 м. Похоже, что северо-восточнее поселка Буранчи имеется система небольших карстовых воронок. Имеются они и в пойме Бурти. На водоразделе между Курколем и Буртей, а также южнее локального поднятия, ограничивающего впадину с юга, развит один из типов криогенного микрорельефа, идентифицированный А.Г. Рябухой как полигонально-блочный [4].

На Беляевском участке отмечается контрастное проявление соляной тектоники. Соляные гряды закартированы по плотной сети сейсморазведочных профилей, отработанных МОГТ (Л.А. Благосмылова, 2004 г.) и данным гравиразведки (М.И. Елманов, 2005 г.). Нами уточнены их границы в районе впадины Курколь и скважины 102 Оренбургская.

Соляные гряды имеют меридиональную ориентировку, в плане «изломаны» (рис. 4). Их ширина варьируется от 1,2 до 7,4 км. Сложены галитом с небольшими включениями ангидрита, карбонатов и терригенных пород (кунгурский ярус). По типу относятся к прорванным. Контакт соленосной толщи с вмещающими терригенными отложениями субвертикальный. У гряд имеются соляные карнизы. Отметки залегания их поверхности варьируются от -70 до -600 м. Кровля подсолевых карбонатов девонско-башкирского возраста на Беляевском участке погружается в восточном направлении с отметок -3000 – -3300 до -4800 – -5200 м. Под впадиной Курколь залегает в интервале -4100 – -4300 м.

Ближайшие к впадине скважины – 104 и 105 Предуральские, 250 Буранчинская и 102 Оренбургская (рис. 4). Они находятся в пределах соляных гряд. В разрезах скважин в основании соленосной толщи кунгурского яруса залегает пласт ангидрита филипповского горизонта. Под ним карбонатно-терригенные отложения нижней перми и верейского горизонта московского яруса среднего карбона. Ниже, толща карбонатных пород девонско-башкирского возраста. Подошва собственно солей кунгурского яруса залегает выше кровли карбонатов примерно на 100 м.

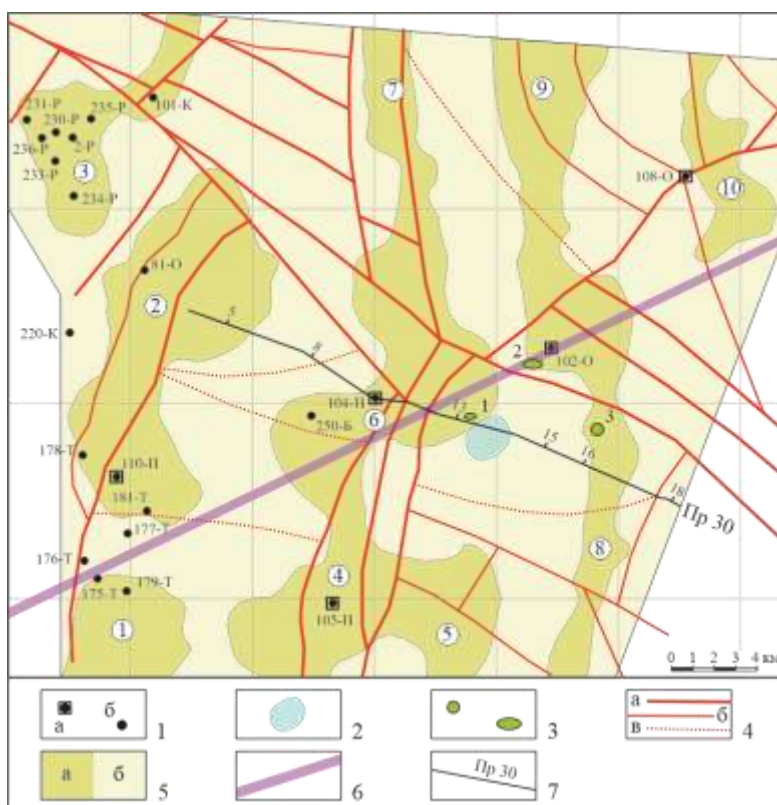


Рисунок 4 – Беляевский участок. Тектонические нарушения и соляные гряды

Примечание: 1-3 – см. рисунок 1; 4 – тектонические нарушения по данным аэросъемки: региональные (а), локальные (б), трещины (в) (И.Ф. Ефремов, 2006 г.); 5 – соляные гряды (а) и мульды (б) (Л.А. Благосмылова, 2004 г.; М.И. Елманов, 2005 г.); 6 – предполагаемое тектоническое нарушение, проявившееся в строении соляных гряд (А.М. Тюрин, 2022 г.); 7 – сейсмразведочный профиль МОГТ 30.

Скважины на нефть и газ: Б – Буранчинская, К – Крючковские, О – Оренбургские, П – Предуральские, Р – Рождественские, Т – Теректинские. Соляные гряды: Ключевская (1), Талдысайско-Крючковская (2), Рождественская (3), Буртинская (4), Богдановская (5), Буранчинская (6), Островненская (7), Кзылобинская (8), Белогорская (9), Елианская (10).

Кепрок в разрезах трех скважин представлен гипсом (мощность от 9 до 20 м). В разрезе скважины 102 на солях залегает сульфатизированная терригенно-карбонатная толща мощностью 33 м. Эта скважина вскрыла зону контакта соленосных отложений Белогорской гряды и красноцветных терригенных пород перми. Разрез сложен их переслаиванием. Верхняя часть соленосной толщи (мощность 1035 м) сложена галитом с подчиненным содержанием ангидрита. По принятой терминологии это соляной карниз.

В разрезе скважины 104 на кепроке (отметка -67 м) залегают терригенные отложения триаса (мощность 99 м), 105 (-90 м) – юры (166 м), 250 (-76 м) – юры (157 м). В разрезе скважины 102 Оренбургская на сульфатизированной толще (-17 м) – терригенные отложения татарского яруса верхней перми (270 м). Отложения юры представлены глинами, преимущественно сероцветными, с прослоями аргиллитов, песчаников и мергелей. Мощность нерасчлененных неоген-четвертичных отложений в разрезах четырех скважин – 15-88 м.

Мульды в пределах Беляевского участка узкие, в центральных частях бессолевые. Выполнены терригенными отложениями перми и триаса (красноцветные глины, алевролиты, песчаники с прослоями известняков, линзами гравелитов и конгломератов), залегающими резко ассиметрично. Неоген-четвертичные отложения залегают на размытой поверхности этой толщи.

Северо-западная граница плоской части впадины находится над субвертикальной стенкой Буранчинской гряды. Проявления карста на северо-западном борту впадины приурочено к ее краевой части. Два других его проявления тоже приурочены к краевым частям гряд. Можно практически однозначно утверждать, что он связан с растворением гипса кепрока соляных гряд.

По результатам геологической съемки тектонические элементы, которые могут быть связаны с впадиной Курколь и проявлениями карста, не выделены (В.П. Твердохлебов, 2001 г.). Нами предполагается наличие вблизи впадины тектонического нарушения, обусловившего особенности строения соляных гряд (рис. 4). Наиболее ярко оно проявилось на карте локальных аномалий силы тяжести при сглаживании в окне 1,5×1,5 км (М.И. Елманов, 2005 г.). Нарушение ограничивает с юга Елшанскую гряду. В его области коленообразно сопрягаются Кзылобинская и Белогорская гряды, а также Буртинская и Островненская, Ключевская и Талдысайско-Крючковская разделены мульдой. К нарушению тяготеют два проявления карста и соляной карниз, вскрытый скважиной 102 Оренбургская. Но с ним впадина прямо не связана.

Аэросъемка Беляевского участка выполнена в 2006 г. – 07.07 (дневная) и 08.07 (ночная) с высоты 5100 м многоспектральным сканером (И.Ф. Ефремов, 2006 г.). Главным ее результатом является тепловое поле поверхности земли, замеренное в ночное время (результаты тепловизионной съемки). Радиус сглаживания 75 м. По этим данным уверенно выделяются линейные зоны, которые трактуется авторами отчета как тектонические нарушения (рис. 4). По зонам с высокой температурой поверхности земли выделены участки, перспективные на нефть и газ. Впадина Курколь и проявления карста с выделенными тектоническими нарушениями не коррелируются. Не входит впадина и в зоны, перспективные на нефть и газ.

Температуропроводность соли  $12,0 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с, теплопроводность – 6,9 Вт/м•К. У терригенных пород, вмещающих соляные купола и гряды, значения этих параметров существенно ниже –  $5,0 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с и 2,3 Вт/м•К соответственно [10]. Теплофизические характеристики соляно-тектонических структур рассмотрены на основе данных термокаротажа в скважинах Каинсайско-Линевской зоны (северо-восток Прикаспийской впадины, Оренбургская область) [11]. Главный вывод – соляные купола и гряды являются проводниками глубинного тепла до поверхности земли. В Предуральском прогибе на глубине 1000 м расчетная температура в пределах зоны соляно-тектонических структур варьируется от 31,5 до 52,4 °С, в интервале 100-1000 м геотермический градиент – от 1,1 до 3,5 °С/100 м [12]. Можно было ожидать, что в результатах тепловизионной съемки

на Беляевском участке проявятся, прежде всего, соляные гряды. Но тепловое поле оказалось мозаичным (рис. 5). Это связано с тем, что гряды узкие. Приуроченный к ним тепловой поток прогревает вмещающие терригенные отложения. Впадине Курколь соответствует яркая тепловая аномалия. Температура поверхности земли в ее плоской части <math>< 12^{\circ}\text{C}</math>. А вокруг нее достигает

В оренбургском сегменте Предуральяского прогиба нефтегазоносными являются подсолевые карбонаты башкирского яруса. Открыты три месторождения: Рождественское нефтегазоконденсатное, Теректинское и Акобинское газоконденсатные. Одним из методов поиска месторождений углеводородов является геохимическая съемка.

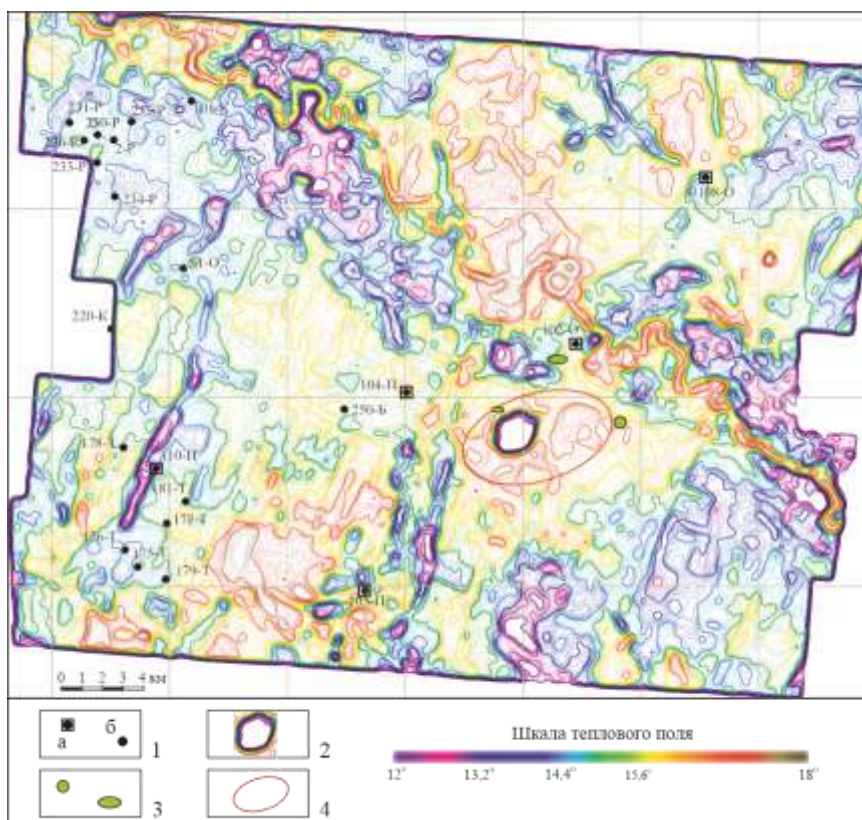


Рисунок 5 – Беляевский участок. Тепловое поле поверхности земли по результатам ночной авиационной тепловизионной съемки (08.07.2006 г.)

Примечание: 1-3 – см. рисунок 1; 4 – тепловая аномалия, соответствующая впадине Курколь.

Ниже почвенного слоя залегают генетически связанные с ним отложения, являющиеся флюидупором, затрудняющим миграцию глубинных газов к поверхности земли. При геохимической съемке пробы грунта отбираются под ним. На Беляевском участке – на глубинах от 0,5 до 2,0 м. По пробам определено содержание метана, его гомологов от этана до гексана, неуглеводородных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$ ) и микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, V, Mo, Ag, Mn, Sn, Ba, Sc, Ti, Li, Nb, Y, Yb, Zr, P, Ga, B, Sr, Hg) (И.Ф. Мясников, 2005 г.).

В подпочвенном слое плоской части впадины Курколь ураганное содержание метана ( $\text{CH}_4$ ) (рис. 6) – до  $0,0760$  при фоне  $0,0002 \text{ см}^3/\text{кг}$ , суммы тяжелых углеводородных газов ( $\text{C}_5\text{H}_{12} + \text{C}_6\text{H}_{14}$ ) – до  $0,0025$  при фоне  $0,0001 \text{ см}^3/\text{кг}$ . Высокое содержание последних отмечается и в районе скважины 102 Оренбургская. Содержание диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в подпочвенном газе обычно не превышает  $5,0\%$ , среднее на Беляевском участке –  $5,8\%$ . Изолиния содержания диоксида углерода  $7\%$  примерно соответствует внешним контурам впадины Курколь. В ее плоской части содержание этого газа тоже ураганное – до  $55,9\%$ .

По трем отмеченным газам аномалия, соответствующая впадине, ярко выделяется на Беляевском участке. По другим газам аномалий, приуроченных к впадине, не выявлено. Не выявлено их и по комплексным параметрам содержания микроэлементов. Аномальных значений рассматриваемых параметров в областях проявления карста не имеется.

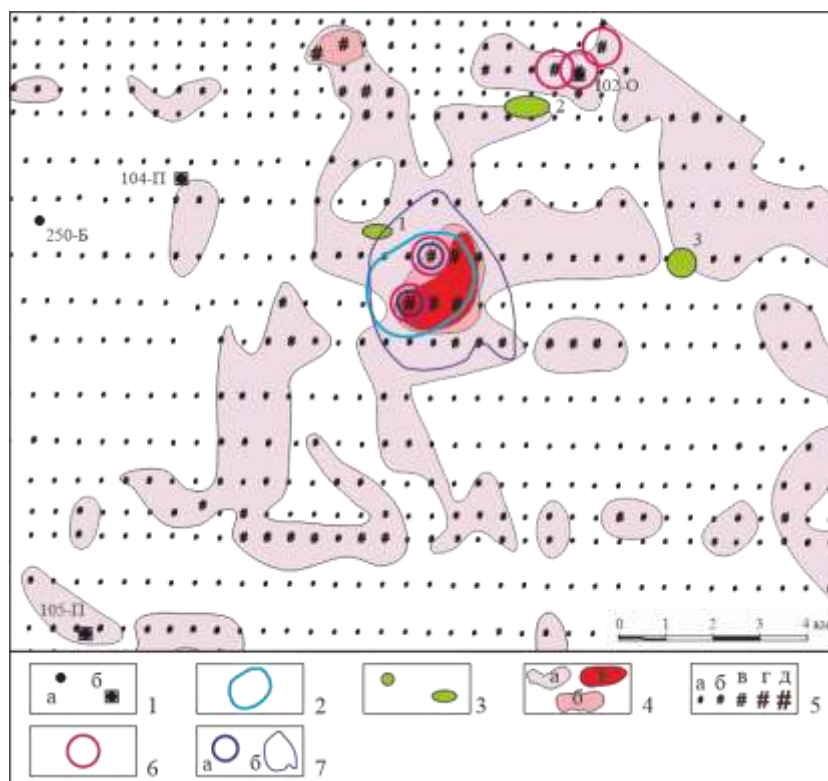


Рисунок 6 – Беляевский участок (его часть в районе урочища Курколь). Содержание в подпочвенном слое метана, тяжелых углеводородных газов и диоксида углерода

Примечание: 1-3 – см. рисунок 1; 4 – аномалии метана ( $CH_4$ ): 300-1000 (а), 1000-3000 (б), > 3000 (в)  $см^3/кг \times 10^{-6}$ ; 5 – содержание метана в точках наблюдения: 9-299 (а), 300-499 (б), 500-999 (в), 1000-2999 (г), >3000 (д)  $см^3/кг \times 10^{-6}$ ; 6 – точки с аномальным содержанием тяжелых углеводородных газов ( $C_5H_{12}+C_6H_{14}$ ) > 50  $см^3/кг \times 10^{-6}$ ; 7 – точки с аномальным содержанием диоксида углерода ( $CO_2$ ) > 30 % (а), зона с его содержанием > 7 % (показана только для впадины Курколь).

Аномальное содержание в подпочвенном слое уплощенной части впадины метана, тяжелых углеводородных газов и диоксида углерода интерпретируется однозначно. Метан может формироваться в болотном грунте. Но его ассоциация с гомологами указывает на их глубинное происхождение. Углеводородные газы скапливаются под флюидоупором. Туда вместе с поверхностными водами поступает кислород. Это дает возможность бактериям-метанотрофам питаться углеводородами. Продуктом их жизнедеятельности является диоксид углерода.

Как отмечено выше, на Беляевском участке отработана плотная сеть сейсморазведочных профилей МОГТ (Л.А. Благосмыслова, 2004 г.). Полевые материалы обработаны по углубленному графу специалистами ОАО НПО «Нафтакон» (М.И. Елманов, 2005 г.). Он включал и глубинную миграцию по исходным сейсмограммам.

В практике геологоразведочных работ на нефть и газ в подсолевых отложениях не принято выполнять детальную интерпретацию временных и глубинных разрезов в интервале надпродуктивной толщи. Такая интерпретация осуществлена нами. Получено два методических результата.

1. По глубинным разрезам возможно относительно детально картировать геометрию субвертикальных стенок соляных гряд (по прекращению прослеживания на разрезах осей



синфазности волн, сформированных на отражающих границах в терригенных отложениях перми и триаса).

2. В самой верхней части разреза в мульдах уверенно (но фрагментарно) прослеживается отраженная волна с субгоризонтальной осью синфазности. По геологической ситуации мы привязали ее к кровле терригенных отложений триаса – подошве отложений неогена.

Это позволило практически однозначно определить геологическую позицию впадины Курколь по глубинному разрезу единственного пересекающего ее профиля 30. Его положение показано на рисунке 4, результаты нашей интерпретации – на рисунке 7. Впадина соответствует грабену, который генетически связан с особенностями формирования Буранчинской гряды. На завершающем этапе происходит выжим остатков солей из ее нижней части. Обычно этот процесс приводит к пликативной трансформации толщи надсолевых отложений. Но в данном случае их пригибание вблизи восточной стенки гряды частично компенсировано грабеном. По кровле триаса его глубина 60-70 м. Сформировался грабен не ранее накопления нижней части отложений неогена. В настоящее время процесс его формирования продолжается. Это обуславливает наличие приуроченной к грабену зоны отложений с открытой трещиноватостью. Можно ожидать, что процесс формирования грабена сопровождается сейсмическими событиями. Но их эпицентры в районе впадины Курколь по результатам наблюдений в 2010-2017 гг. не зафиксированы [13].

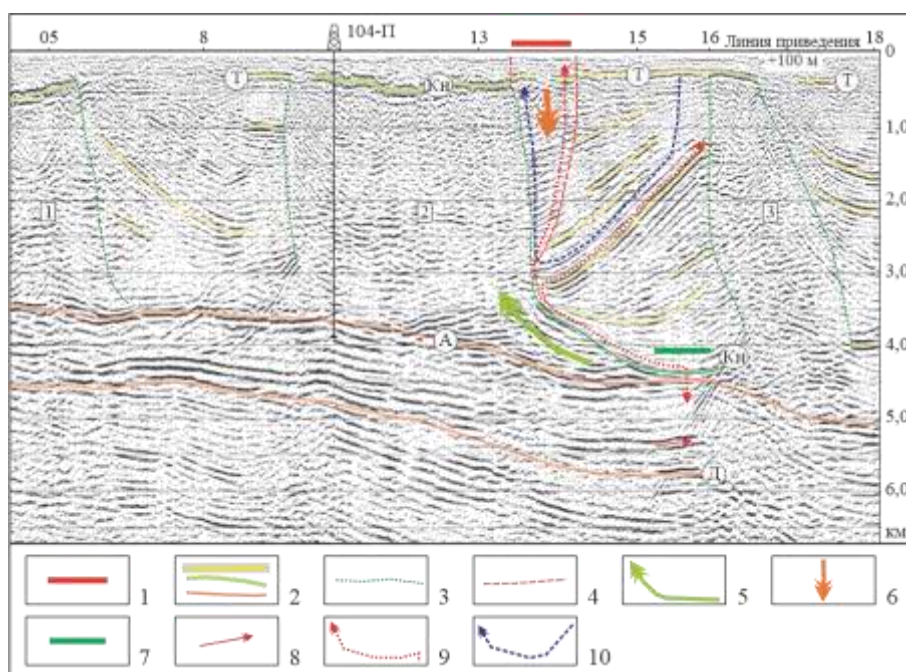


Рисунок 7 – Глубинный сейсмический разрез по профилю 30 (обработка ОАО НПО «Нафтакон», 2005 г.)

*Примечание:* 1 – уплощенная часть впадины Курколь; 2 – оси синфазности отраженных волн; 3 – субвертикальные стенки соляных куполов; 4 – разломы, ограничивающие грабен; 5 – направление выжимания остатков солей из самой нижней части Буранчинской гряды; 6 – направление проседания терригенных пород в грабене; 7 – бессолевого участка мульды; 8 – северо-западное крыло антиклинального поднятия в подсолевых карбонатах; 9 – путь миграции углеводородных газов из подсолевых карбонатов в нижнюю часть грабена; 10 – тепловая циркуляция пластовых вод. Цифрами над разрезом выборочно показаны пересечения профиля с другими профилями.

*Идентифицированные отражающие границы:* А и Д – кровля и подошва толщи карбонатов девонско-башкирского возраста; Кн – кровля солей кунгурского яруса; Т – кровля терригенных отложений триаса – подошва отложений неогена.

Волна Кн формируется на кровле соленосных отложений. В мульдах она заметно более высокочастотная, чем волны, сформированные в толще терригенных отложений перми. На плосковершинных куполах и грядах с развитым кепроком волна имеет специфические характеристики. Ее вторая фаза динамически выражена и низкочастотная. В мульдах выше волны Кн динамически выраженные отраженные волны связаны в основном с пластами песчаника. Судя по волновому полю, ими обогащена средняя часть толщи надсолевых отложений.

С целью прогноза перспектив нефтегазоносности Беляевского участка по данным гравиразведки определена микроструктура поля силы тяжести. С залежами нефти и газа связаны ее специфические аномалии. Микроструктура поля отражает и особенности рельефа местности, а также строения самой верхней части разреза (первые сотни метров). В районе впадины Курколь аномалий не выделено.

#### **Модель потоков флюидов.**

Авторы публикации [14] на примере Северо-Восточной Германии рассмотрели влияние температурных аномалий, связанных с соляными куполами, на процесс циркуляции в мульдах пластовых вод. Это одно из направлений изучения теплофизических характеристик соляно-тектонических структур. Более сложные модели циркуляции пластовых вод в мульдах для этого же региона рассмотрены в публикации [15]. К склону соляного купола приурочена узкая зона, в которой формируется поток восходящих теплых вод, а холодные воды, на удалении от него, двигаются вниз к подошве надсолевых отложений мульды.

В мульде, примыкающей к Буранчинской соляной гряде с востока, идеальные условия для установления циркуляции пластовых вод по схеме, приведенной в публикациях [14, 15]. Пластовые воды из неоген-четвертичных отложений поступают в проницаемые пласты песчаника триаса и перми. По крутопадающим пластам перми они продвигаются к нижней части Буранчинской гряды (рис. 7), где прогреваются потоком тепла, идущим вверх по солям. Вдоль ее склона формируется восходящий поток прогретых вод. В данном случае он приурочен к зоне отложений с открытой трещиноватостью, связанной с грабеном. Прогретые воды поднимаются до верхнего водоносного горизонта, формируя на поверхности земли тепловую аномалию. Последняя зафиксирована по результатам тепловизионной съемки в районе впадины Курколь (рис. 5). Но плоская часть впадины характеризуется минимальными температурами поверхности земли. Скорее всего, это связано с тем, что здесь в верхний водоносный горизонт каждый год поступают талые воды, характеризующиеся низкой температурой.

На глубинном разрезе по профилю 30 в подсолевых карбонатах под бессолевым участком мульды к востоку от Буранчинской гряды имеются признаки антиклинального поднятия с небольшой амплитудой (рис. 7). По отражающей границе А оно только «угадывается». Северо-западный склон поднятия фиксируется по динамически выраженному отражению в толще карбонатов. Северо-восточный склон соответствует их региональному падению. Предполагается, что поток углеводородных газов, растворенных в пластовых водах, мигрирует по верхней части подсолевых карбонатов в сторону их восстания. В поднятии по их кровле формируется небольшая залежь свободного газа. В бессолевом участке мульды газ проникает в нижнюю часть терригенных надсолевых отложений. Далее вдоль склона соляной гряды по задирам пластов терригенных отложений углеводороды мигрируют в нижнюю часть грабена в приуроченную к нему зону отложений с открытой трещиноватостью. По ней они в прогретых водах мигрируют вверх до верхнего водоносного горизонта, а из него в подпочвенный слой плоской части впадины Курколь.

Часть углеводородных газов через флюидоупор поступает в почвенный слой. Здесь они поедаются бактериями с образованием диоксида углерода (углекислого газа). Он поступает в приповерхностный слой атмосферы. В него же поступает углекислый газ из подпочвенного слоя, где зафиксировано его ураганное содержание. Это приводит к повышенному содержанию этого газа в приповерхностном слое атмосферы, что ведет к

возрастанию скорости накопления растениями биомассы [16]. То есть, высокая биологическая продуктивность впадины Курколь может быть связана и с подпиткой растений дополнительными объемами углекислого газа.

Часть глубинных углеводородных газов в нижней части мульды может мигрировать по восстающим пластам терригенных отложений в сторону Кзылобинской гряды и формировать залежи в пластах песчаника, экранированных солями (рис 7). То есть, восточная часть мульды является перспективной на поиск залежей углеводородов в надсолевых отложениях.

### **Выводы, гипотезы и рекомендации**

1. Бессточная впадина Курколь (поперечный размер 3,0-3,2 км) приурочена ко второй надпойменной террасе Урала. Имеет блюдцеобразную форму с пологими равнопадающими склонами и плоской центральной частью (размеры 1,8×2,2 км).

2. По результатам геологической съемки тектонические элементы, с которыми может быть связана впадина, не выделены. Строение верхней части разреза (первые сотни метров) в районе впадины по данным гравиразведки является однородным.

3. Впадина не коррелируется с системой тектонических нарушений, выделенных по результатам дистанционной съемки.

4. По терригенным отложениям перми, триаса и нижней части неогена впадине по данным сейсморазведки МОГТ соответствует грабен, генетически связанный с процессом формирования Буранчинской соляной гряды.

5. Карстовая природа впадины исключается, и она и не является астроблемой, поскольку имеет глубокие геологические «корни».

6. Самая простая геологическая гипотеза генезиса впадины: она связана с грабеном. При этом необходимо допущение о существовании механизма формирования округлой формы ее плоской части. Вторая гипотеза: геоморфологические особенности впадины, прежде всего геометрия ее плоской части, прямо и непосредственно с грабеном не связаны (связаны опосредствовано).

7. В подпочвенном слое уплощенной части впадины по данным геохимической съемки ураганное содержание метана, его гомологов и диоксида углерода. Ассоциация метана с его гомологами указывает на их глубинное происхождение. Диоксид углерода имеет биогенную природу.

8. Ураганное содержание метана и его гомологов в подпочвенном слое впадины формируется потоком углеводородных газов из подсолевых карбонатов. Они мигрируют вверх по зоне открытой трещиноватости терригенных отложений, связанной с грабеном. Впадина могла быть сформирована выбросами углеводородных газов в конце эпохи плейстоцена. Возможно, локальные неоднородности в ее плоской части связаны с взрывными воронками.

9. Пониженные температуры поверхности земли в ночное время по данным тепловизионной съемки в плоской части впадины являются следствием ежегодного поступления в верхний водоносный горизонт талых вод, характеризующихся низкой температурой. С учетом этого, впадина находится в зоне высоких температур верхней части разреза, связанных с тепловой циркуляцией пластовых вод в терригенных надсолевых отложениях мульды. Они были высокими и в конце эпохи плейстоцена, обусловив формирование локального термокарста.

10. Модель формирования впадины Курколь можно свести только к термокарсту. Но в этом случае возникает одна проблема. В оренбургском сегменте Предуральяского прогиба впадина является единственным объектом этого типа [3, 4]. То есть, это уникальный объект, и он мог сформироваться только при уникальном же сочетании геологических предпосылок. В данном случае это наличие потоков глубинного тепла и углеводородных газов.

11. По авторской модели в формировании впадины Курколь можно выделить пять специфических этапов:

- повышенные температуры в верхней части разреза в зоне будущей впадины сформировали в толще терригенных пород с многолетней мерзлотой ее утонченный участок, под которым образовалась ловушка;

- ловушка была заполнена углеводородными газами потока, который существует и сегодня;

- при высоте ловушки 100-200 м в ее верхней части сформировалось аномально высокое давление газа;

- на первом этапе деградации многолетней мерзлоты в конце эпохи плейстоцена произошло несколько его выбросов;

- система образовавшихся взрывных воронок процессами термокарста преобразована во впадину округлой формы.

12. Генетически впадину Курколь следует идентифицировать как уникальный геологический объект, связанный с особенностями формирования Буранчинской соляной гряды и сопряженной с ней с востока мульды. Потоки углеводородного газа и прогретых пластовых вод по отношению к этим соляно-тектоническим элементам вторичные.

13. В соответствии с авторской моделью поднятие к югу от впадины с ней генетически не связано. Это останец.

14. При планировании работ по уточнению генетической природы впадины Курколь рекомендуется учесть элементы ее геологической позиции и гипотезы формирования, приведенные в настоящей статье.

15. Предположение о подпитке растений дополнительными объемами углекислого газа глубинного генезиса можно проверить. Нужно определить содержание радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$  в однотипных растениях во впадине и на контрольном участке. В случае наличия подпитки содержание  $^{14}\text{C}$  в растениях впадины будет пониженным (этого изотопа в глубинных углеводородных газах не имеется). Можно будет определить долю глубинного углерода, вовлеченного в фотосинтез.

16. Ураганное содержание углекислого газа в подпочвенном слое впадины является вопросом промышленной безопасности. В выработках в ее плоской части глубиной более 2,0 м может скапливаться углекислый газ, достигая опасной для человека концентрации.

17. По результатам геохимической съемки на Беляевском участке получены уникальные данные – содержание в подпочвенном слое микроэлементов. Рекомендуется рассмотреть возможности их использования при решении специальных задач изучения степной зоны Оренбуржья.

18. Рекомендуется изучить отложения плоской части впадины Курколь на предмет возможности получения данных для реконструкции в регионе палеоклимата. При этом следует иметь в виду, что радиоуглеродное датирование отложений (по органическим включениям и сапропелю) может давать недостоверные результаты. Углерод из углеводородных газов, не имеющий радиоактивного изотопа  $^{14}\text{C}$ , участвует в фотосинтезе (через углекислый газ).

19. Рекомендуется повторно обработать полевые сейсморазведочные данные по профилю 30, в том числе и по технологии AVO, позволяющей выявлять в терригенных отложениях газоносные пласты песчаника. Она дала удовлетворительные результаты в оренбургском сегменте Предуральяского прогиба.

### Заключение

По многим площадям западной части Оренбургской области имеются геолого-геофизические данные, позволяющие существенно усилить общегеологическую составляющую комплексного подхода к изучению природных объектов. В статье это показано на примере впадины Курколь.

Список литературы

1. Чибилев А.А. Природное наследие Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1996. 384 с.
2. Петрищев В.П. Солянокупольный ландшафтогенез: морфоструктурные особенности геосистем и последствия их техногенной трансформации. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 309 с.
3. Рябуха А.Г. К проблеме перигляциального рельефообразования на территории Оренбургской области // Вестник ОГУ. 2015. № 10. С. 352-354.
4. Рябуха А.Г. Реликтовый криогенный микрорельеф Общесыртовско-Предуральской степной провинции // Географические исследования территориальной организации ландшафтов: трансформация, сохранение, восстановление (к 100-летию со дня рождения профессора Ф.Н. Милькова). Оренбург, 2017. С. 44-50.
5. Рябуха А.Г. Роль позднеплейстоценовых перигляциальных условий в развитии ландшафтов Прикаспийской низменности // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 3. С. 9.
6. Епифанов В.А. Взрывные воронки-колодцы и актуальность изучения роли дегазации недр в климатических событиях и ландшафтных преобразованиях четвертичного периода // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2018. № 76. С. 5-40.
7. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Формирование залежей углеводородов в верхней части разреза и кратеров выбросов газа // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2019. № 1(85). С. 48-55.
8. Тюрин А.М. Новые свидетельства в пользу предполагаемой астроблемы Железный Борок // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Оренбург: ОГУ, 2021. С. 1127-1132.
9. Савельев Б.Н. Импактные события как фактор генезиса геологических структур // Уральский геологический журнал. 2022. № 2(146). С. 70-81.
10. Хуторской М.Д., Поляк Б.Г. Искажения теплового поля при росте соляных куполов // Тепловое поле Земли и методы его изучения. М.: Изд-во РУДН, 2000. С. 24-32.
11. Тюрин А.М. Теплофизические характеристики соляно-купольных структур как часть феноменологической концепции ландшафтогенеза // Вопросы степеведения. 2022. № 1. С. 12-27. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-1-12-27.
12. Шилов Г.Я., Василенко Е.И. Опыт применения термобарических параметров разреза для оценки перспектив нефтегазоносности разреза площадей Предуральского прогиба // Каротажник. 2013. № 11(233). С. 37-46.
13. Nesterenko M.Y., Nesterenko Y.M. Hydro-geodynamic and geodynamic processes in the platform territories of hydrocarbon production. Modern problems of reservoirs and their catchments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science321. 2019. 012004. DOI:10.1088/1755-1315/321/1/012004.
14. Canova D.P., Fischer M.P., Jayne R.S. and Pollyea R.M. Advective Heat Transport and the Salt Chimney Effect: A Numerical Analysis. Geofluids. 2018. vol. 18. pp. 1-18.
15. Littke R., Bayer U., Gajewski D., Nelskamp S. Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System. Springer. Berlin. Heidelberg. 2008. 519 p.
16. Акатов П.В. Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере // Живые и биокосные системы. 2013. № 5. С. 14.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 15.05.2022

Принята к публикации 20.06.2022

**KURKOL DEPRESSION: GEOLOGICAL POSITION****A. Tyurin**

VolgoUralNIPIgaz LLC, Orenburg State University, Russia, Orenburg

e-mail: amturin1952@bk.ru

According to the data of the geological survey, drilling, seismic and gravity exploration, geochemical survey, remote sensing, and author's field observations, the geological position of the drainless Kurkol depression, which is a geomorphological monument, has been determined. According to terrigenous suprasalt deposits, it corresponds to the downthrown block, which is genetically related to the process of formation of the Buranchinsky salt ridge. The subsurface layer of the depression has a top-cut grade of methane, its homologs, and carbon dioxide. It was revealed in the temperature field of the lands' surface. Geological hypotheses of the depression's genesis are formulated; recommendations for its further study are given.

*Key words:* geology, geophysics, geochemistry, landscape genesis, steppe, drainless depression, Orenburg region.

**References**

1. Chibilev A.A. Prirodnoe nasledie Orenburgskoi oblasti. Orenburg: Orenburgskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1996. 384 s.
2. Petrishchev V.P. Solyanokupol'nyi landshaftogenez: morfostrukturnye osobennosti geosistem i posledstviya ikh tekhnogennoi transformatsii. Ekaterinburg: UrO RAN, 2011. 309 s.
3. Ryabukha A.G. K probleme periglyatsial'nogo rel'efoobrazovaniya na territorii Orenburgskoi oblasti. Vestnik OGU. 2015. N 10. S. 352-354.
4. Ryabukha A.G. Reliktovyi kriogennyi mikrorel'ef Obshchesyrtovsko-Predural'skoi stepnoi provintsii. Geograficheskie issledovaniya territorial'noi organizatsii landshaftov: transformatsiya, sokhranenie, vosstanovlenie (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora F.N. Mil'kova). Orenburg, 2017. S. 44-50.
5. Ryabukha A.G. Rol' pozdnepleistotsenovykh periglyatsial'nykh uslovii v razvitii landshaftov Prikaspiiskoi nizmennosti. Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN. 2018. N 3. S. 9.
6. Epifanov V.A. Vzryvnye voronki-kolodtsy i aktual'nost' izucheniya roli degazatsii nedr v klimaticheskikh sobytiyakh i landshaftnykh preobrazovaniyakh chetvertichnogo perioda. Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 2018. N 76. S. 5-40.
7. Bogoyavlenskii V.I., Bogoyavlenskii I.V. Formirovanie zalezhei uglevodorodov v verkhnei chasti razreza i kraterov vybrosov gaza. Delovoi zhurnal Neftegaz.RU. 2019. N 1(85). S. 48-55.
8. Tyurin A.M. Novye svidetel'stva v pol'zu predpolagaemoi astroblemy Zheleznyi Borok. Universitetskii kompleks kak regional'nyi tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury. Orenburg: OGU, 2021. S. 1127-1132.
9. Savel'ev B.N. Impaktnye sobyitiya kak faktor genezisa geologicheskikh struktur. Ural'skii geologicheskii zhurnal. 2022. N 2(146). S. 70-81.
10. Khutorskoi M.D., Polyak B.G. Iskazheniya teplovogo polya pri roste solyanykh kupolov. Teplovoe pole Zemli i metody ego izucheniya. M.: Izd-vo RUDN, 2000. S. 24-32.
11. Tyurin A.M. Teplofizicheskie kharakteristiki solyano-kupol'nykh struktur kak chast' fenomenologicheskoi kontseptsii landshaftogeneza. Voprosy stepovedeniya. 2022. N 1. S. 12-27. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-1-12-27.
12. Shilov G.Ya., Vasilenko E.I. Opyt primeneniya termobaricheskikh parametrov razreza dlya otsenki perspektiv neftegazonosnosti razreza ploshchadei Predural'skogo progiba. Karotazhnik. 2013. N 11(233). S. 37-46.

13. Nesterenko M.Y., Nesterenko Y.M. Hydro-geodynamic and geodynamic processes in the platform territories of hydrocarbon production. Modern problems of reservoirs and their catchments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 321. 2019. 012004. DOI:10.1088/1755-1315/321/1/012004.
14. Canova D.P., Fischer M.P., Jayne R.S. and Pollyea R.M. Advective Heat Transport and the Salt Chimney Effect: A Numerical Analysis. Geofluids. 2018. vol. 18. pp. 1-18.
15. Littke R., Bayer U., Gajewski D., Nelskamp S. Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System. Springer. Berlin. Heidelberg. 2008. 519 p.
16. Akatov P.V. Reaktsiya rastenii na rost kontsentratsii uglekislogo gaza v atmosfere. Zhivye i biokosnye sistemy. 2013. N 5. S. 14.

**Сведения об авторе:**

Анатолий Матвеевич Тюрин

К.г.-м.н., заведующий лабораторией промыслово-геофизических исследований ООО «ВолгоУралНИПИгаз», доцент кафедры геологии, геодезии и кадастра Оренбургского государственного университета

ORCID ID: 0000-0003-4550-2680

Anatoly Tyurin

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Field and Geophysical Research of "VolgoUralNIPIgaz" LLC, Associate Professor of the Department of Geology, Geodesy and Cadastre, Orenburg State University

**Для цитирования:** Тюрин А.М. Впадина Курколь: геологическая позиция // Вопросы степеведения. 2022. № 2. С. 4-18. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-2-4-18