

ЦИРКУММЕНТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)

CIRCUMMENTIAL-MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND ITS APPLICATION FOR ECOLOGICAL-GEOLOGICAL ZONING (ON THE EXAMPLE OF THE LIPETSK REGION)

КОСИНОВА И.И.

Заведующая кафедрой экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, д.г.-м.н., профессор, г. Воронеж, kosinova777@yandex.ru

ИЛЬЯШ Д.В.

Аспирант кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, vvikii@mail.ru

KOSINOVA I.I.

Head of the ecological geology department of the geology faculty of the Voronezh State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), professor, Voronezh, kosinova777@yandex.ru

ILYASH D.V.

Postgraduate student of the ecological geology department of the geology faculty of the Voronezh State University, Voronezh, vvikii@mail.ru

Ключевые слова: эколого-геологическое районирование; дистанционное зондирование; опасные природные процессы; морфологический анализ; циркументно-морфологический анализ; мезоформы рельефа; циркументы; эколого-геологические условия.

Аннотация: в статье рассматривается оригинальная методика циркументно-морфологического анализа, позволяющая выделить потенциально неблагоприятные и опасные участки при эколого-геологическом районировании территорий. Приводятся результаты применения этой методики в пределах Липецкой области.

Введение

В пределах Русской равнины, особенно на Окско-Донской низменности, местами довольно плотно распространены отрицательные мезоформы рельефа — неглубокие плоские понижения или котловины почти правильной изометричной формы, которые по местным ландшафтным признакам получают самые разнообразные названия: степные блюдца, колки, поды, западины, осиновые кусты, березовые кусты, яруги, воронки и др. (рис. 1).

На территории Окско-Донской низменности эти блюдцеобразные морфос-

культуры имеют диаметры от первых десятков метров до 2–3 км. Относительные превышения их бровок над днищами составляют от 1 до 15 м. Эти морфоскульптуры в основном имеют гидроморфные типы почв и представляют собой локальные болота или даже небольшие озера со свободным зеркалом поверхностной воды. Их пристальное рассмотрение началось при изучении природы контрастных эколого-гидрогеохимических аномалий железа и марганца на территориях Липецкой и Воронежской областей [3]. Как выясни-

Key words: ecological-geological zoning; remote sensing; dangerous natural processes; dangerous anthropogenic-natural processes; prognosis; assessment; morphological analysis; circummental-morphological analysis; relief mesoforms; circumments; ecological-geological conditions.

Abstract: the article considers an original technique of circummental-morphological analysis permitting to reveal potentially unfavourable and dangerous areas of a territory for ecological-geological zoning. Some results of application of this technique within the Lipetsk Region are presented.

лось, такие аномальные зоны пространственно сопряжены с участками плотного развития указанных морфоскульптур. Дальнейшие исследования подтвердили их генетическую связь.

По аналогии с широко употребляющимся термином «линеамент» мы предлагаем называть эти морфоскульптуры «циркумментами» (от лат. *circum* — *вокруг, кругом*; *mentum* — *возвышать, выделять*). Тем самым заменяются их многословные и разные названия и отражается их главная морфологическая особенность.

Особенности пространственного распространения и генезис циркумментов

По своим размерным параметрам согласно классификации И.П. Герасимова [1] циркумменты попадают в диапазон мезо- и мини-форм рельефа и соответствуют экзогенным микроструктурам центрального типа по В.В. Соловьеву [7]. *Первая*, и основная, закономерность их пространственного распространения — приуроченность к гребням водоразделов современной гидросети. *Вторая* — приуроченность к осевым линиям структурных меандров рек, огибающих новейшие локальные поднятия разного уровня. *Третья* — зависимость размера циркуммента от градиента гравитационного потенциала рельефа, благодаря чему при прочих равных условиях максимальными размерами отличаются циркумменты главного водораздела. *Четвертая* закономерность имеет структурообразующий характер. Циркумменты не встречаются как одиночные формы, но образуют целые системы (ансамбли), рисунок которых может быть линейным или относительно изометричным. Циркумменты сами по себе не являются элементами структурного каркаса территории, но являются индикаторами тех или иных морфоструктур — линейных, купольных, купольно-кольцевых. На своде поднятий плотно группируются наиболее крупные циркумменты, более мелкие на склонах образуют радиально-концентрические цепочки. Крупные депрессии в рельефе оконтуриваются циркумментами по кольцевому возвышению. Характер-



Рис. 1. Отрицательные мезоформы рельефа, распространенные на территории Окско-Донской низменности: а — вид из космоса; б — вид на местности

на многоуровненность морфоструктур, с которыми связаны циркумменты (рис. 2).

Циркумменты как формы рельефа — экзогенные образования, но не спонтанные, а образующие сложные иерархические системы, подчиняющиеся общему структурному закону организации и динамике вещества литосферы. Они не только трассируют неотектонические и современные волновые движения поверхности осадочного чехла, но и хорошо согласуются с геологическим строением кристаллического фундамента. В рельефе они всегда приурочены к положительным формам, даже если оконтуривают депрессионные морфоструктуры. Механизм их образования обусловлен растягивающими усилиями на сводах поднятий или в переходных зонах сопряженных структур с разными знаками движений. Циркумменты на первом этапе образуются как очаговые центры разуплотнения, по-

степенно расширяющиеся по мере роста поднятия до образования просадочных воронок, которые затем сливаются, образуя более крупные депрессионные структуры. Размер последних зависит от породного субстрата и строения материнской осадочной толщи. Наиболее крупные в поперечнике циркумменты образуются на низких равнинах в обводненных мощных песчаных и алеврито-песчаных толщах. Геолого-геоморфологическая ступенчатая региональная зональность территории сопряжения Окско-Донской впадины и Среднерусского поднятия четко отражается в плотности развития и доминирующем размере циркумментов.

Циркумментно-морфологический анализ как метод выявления неблагоприятных эколого-геологических условий

Циркументно-морфологический анализ (ЦМА) представляет собой раз-

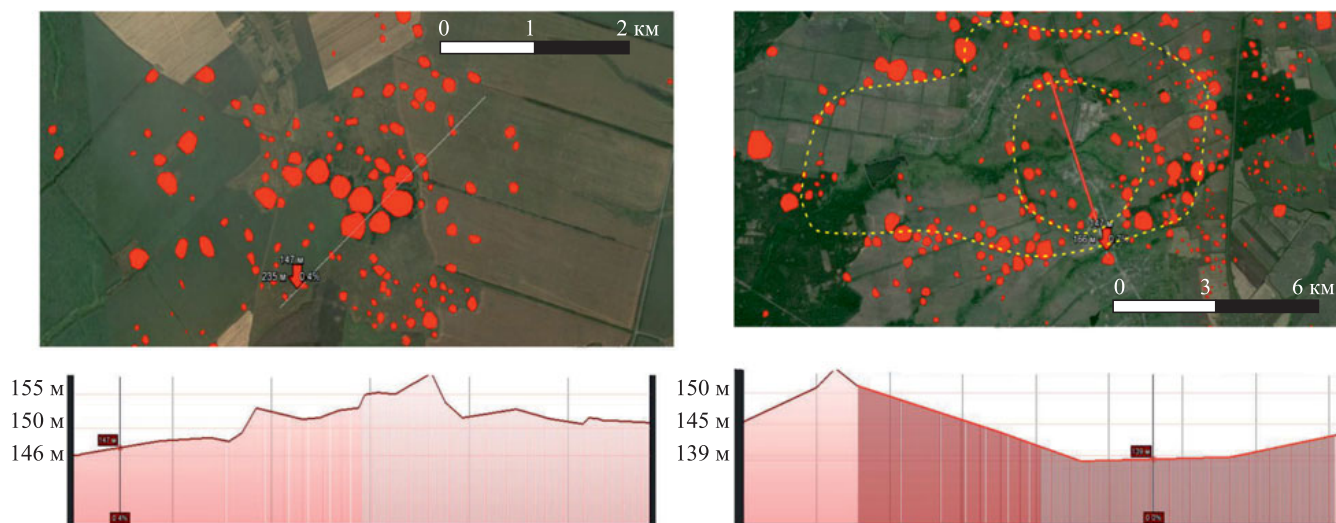


Рис. 2. Купольная морфоструктура (справа) в Чаплыгинском районе Липецкой области в поперечнике имеет размер более 3 км. Циркумменты в ее сводовой части — более крупные, чем на склонах. Купольно-кольцевая морфоструктура (слева), где внутренняя круглая впадина диаметром 5 км вложена в более крупную Сошкинскую впадину. Циркумменты на космоснимках выделены красным цветом, желтым пунктиром показаны кольцевые валы впадин, трассирующиеся циркумментами

новидность морфологического анализа, при применении которого акцент делается на изучении циркумментов. Методология нового метода заключается в представлении о том, что циркумменты являются индикаторами активных неотектонических структур. Соответственно этому базисному положению предлагается и алгоритм применения метода. В нем четыре блока:

- выявление закономерностей пространственного развития циркумментов как индикаторов тренда развития современного рельефа;
- изучение откликов сопряженных с ними в ландшафте биотических, биокосных и абиотических систем;
- выявление геологических структур, геодинамическая активизация которых является причиной генерации циркумментов;
- оценочное и прогнозное эколого-геологическое районирование.

Алгоритм циркументно-морфологического анализа выглядит следующим образом:

- анализ космofотоматериалов разных производителей с целью подбора лучших условий для выявления циркумментов;
- разбраковка изометричных форм, встречающихся на данной территории по генезису, морфологии, возрасту и другим признакам, позволяющим опознавать их на спутниковых материалах и на местности;
- изучение дешифровочных признаков циркумментов применительно к особенностям рассматриваемой территории;
- заверка идентификационных признаков на местности, изучение морфологии, стадии развития, геохимических, геофизических и геодинамических признаков активности;
- составление карты распространённости в масштабе, позволяющем картировать циркумменты с размерами, характерными для изучаемой территории;
- составление циркументно-морфоструктурной карты на основе анализа и сопоставления ландшафтных, геохимических, геоморфологических, геологических, геофизических и неотектонических данных;
- корректировка морфоструктурной карты с уточнением данных на местности;
- составление схемы эколого-геологического районирования с оценкой и прогнозом эколого-геологических условий (по возможности для всех экологических функций литосферы

— геодинамической, геохимической, геофизической, ресурсной).

Основные методологические подходы ЦМА были разработаны и апробированы на примере сопряжения двух неотектонических структур первого порядка (Окско-Донской впадины и Среднерусского поднятия), где циркументы имеют максимальное развитие. Проблема биологического воздействия геоактивных зон привлекает в настоящее время внимание многих ученых. Люди с давних времен, используя различные методы и приборы, пытались выяснить положение этих зон. Геоактивные зоны сопровождаются комплексом геохимических и геофизических аномальных явлений, оказывающих неблагоприятное воздействие на биоту. В этом смысле циркументы и их ансамбли вполне отвечают определению геоактивных зон, так как сопровождаются целым рядом прямых признаков активной деформации осадочной толщи и ее поверхности с проявлениями негативных экзогенных процессов, контрастных геохимических аномалий, повышенного радонового потока, химической деградации почвенного покрова, геоботанических аномалий. В районах их площадного развития резко сокращается клин пахотных земель, снижается их плодородие.

Установление косвенной (пространственной) связи циркумментов с активными геологическими структурами производилось с помощью мультимедийного наложения карт. Это дало возможность совмещения карт геологического содержания и материалов дистанционного зондирования. Кроме того, косвенная пространственная связь устанавливается при обнаружении прямых признаков тектонической активности (таких как нарушенное залегание молодых отложений, зеркала скольжения, трещиноватость, наложенная эндогенная минерализация, геохимические и геоботанические аномалии, повышенный радоновый поток, сейсмоактивность) на территории развития циркумментов по результатам полевых глазомерных и инструментальных наблюдений, а также аналитических исследований. Очень полезно использовать и ретроспективные методы, которые нацеливают на выявление геологических структур, имеющих склонность к унаследованному развитию.

Методика оценки территорий на основе ЦМА производится по критериям, разработанным в официальных нормативно-методических документах, при-

меняемых при инженерно-экологических изысканиях.

Так как свойства циркумментов достаточно выдержанные, коэффициент пораженности ими территории фактически является интегральным, хотя и не единственным показателем. Он рассчитывается как отношение площади, занимаемой циркумментами, к общей площади их развития. Учет вариаций свойств по горизонтали требует специальных исследований.

В таблице 1 приводится перечень критериев для оценки экологического состояния территорий с учетом специфики видов деградации почв и природного загрязнения подземных вод на площадях развития циркумментов.

Применение циркументно-морфологического анализа при эколого-геологическом районировании территории Липецкой области

Районирование производилось в соответствии с разработанной методикой циркументно-морфологического анализа и на основе классификации экологических состояний, связанных с экологическими функциями литосферы. Районирование территории Липецкой области последовательно осуществлялось согласно вышеизложенной методике ЦМА. Карта эколого-геологического районирования была получена на основе синтетического анализа карт:

- эколого-геологического районирования Липецкой области по степени деградации почв (рис. 3, а);
- эколого-геологического районирования Липецкой области по классам противорадовой защиты (рис. 3, б);
- эколого-геологического районирования Липецкой области по загрязнению подземных вод железом (рис. 3, в);
- эколого-геологического районирования Липецкой области по загрязнению подземных вод марганцем (рис. 3, г);
- эколого-геологического районирования Липецкой области по плотности распространения циркумментов (рис. 3, д).

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области по степени деградации почв. Наиболее плодородные почвы с минимальной степенью деградации приурочены к аллювиальным долинам протекающих на территории Липецкой области крупных рек, таких как Дон, Сосна, Олым, Красивая Меча, Воронеж, Становая Ряса, Матыра. Почвы слабой

степени деградации занимают большую часть территории Липецкой области. Они приурочены к крупным водоразделам вышеназванных рек. Почвы средней степени деградации отсутствуют в западном секторе области (на правобережье Дона). В среднем секторе (в междуречье рек Дон и Воронеж) эти почвы представлены локальными областями распространения в северной половине сектора (севернее г. Липецка). Наибольшим распространением данных почв отличается восточный сектор (правобережье р. Воронежа, особенно южнее впадения р. Матыры), где они занимают практически все водораздельное пространство. Почвы сильной и очень сильной степени деградации отмечены на локальных участках лишь на вершинах главных водоразделов в восточном секторе области. Основная их масса приходится на южную часть сектора (Усманский, Добринский, Грязинский районы), где они приурочены к зонам распространения циркумментов. Единичные локальные зоны распространения таких почв отмечены в Добровском и Чаплыгинском районах.

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области по классам противорадоновой защиты. Большая часть территории области относится к первому классу противорадоновой защиты. Территории, отнесенные ко второму классу, отмечаются в виде единичных локальных зон в западном секторе области (южнее села Волово, севернее села Тербуны, юго-восточнее города Елец, северо-западнее города Данков). В среднем секторе области отмечаются две такие зоны — южнее г. Лев Толстой и в центре области на границе Доброского и Лебедян-

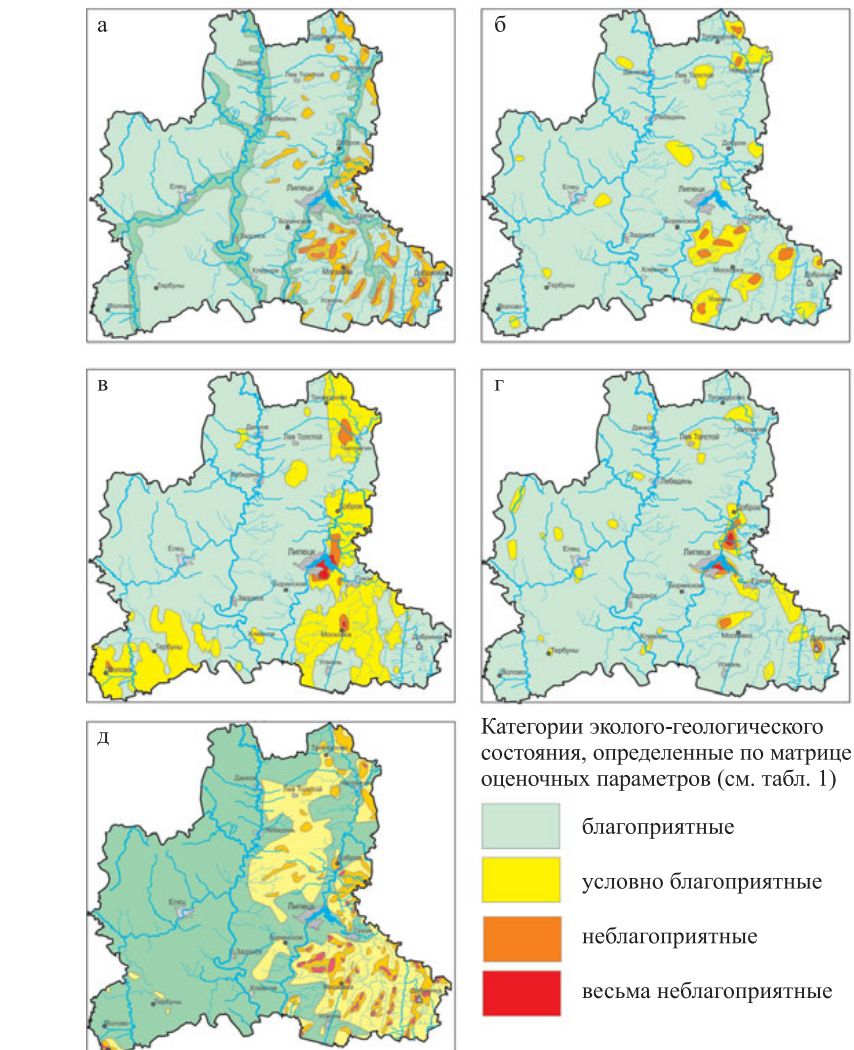


Рис. 3. Тематические карты эколого-геологического состояния Липецкой области

ского районов. Наибольшее распространение они имеют на юго-востоке области (в Грязинском, Усманском и Добринском районах). Территории третьего класса противорадоновой защиты отмечены в виде локальных зон на главных водоразделах юго-востока

области (в Усманском, Грязинском и Добринском районах). Здесь в районе наибольшей плотности развития циркумментов плотность радонового потока составляет $220\text{--}240 \text{ мБк/м}^2 \times \text{с}$.

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области по за-

Таблица 1

Критерий	НД*	Экологическая комфортность (уровни)			
		благопр.	условно благопр.	неблагопр.	весьма неблагоприят.
Пораженность территории поверхностными суффозионно-просадочными процессами, % (экологич. ситуация)	[6]	< 10 (неопасная)	10–30 (умеренно опасная)	30–50 (опасная)	> 50 (весьма опасная)
Плотность потока радона, мБк/м ² ·с (требуемый класс противорадоновой защиты)	[8]	< 80 (I)	80–200 (II)	> 200 (III)	-
Уменьшение запасов гумуса по сравнению со средними, %	[2]	10–20	20–40	40–80	> 80
Содержание суммы токсичных солей, %	[2]	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5	> 0,5
Содержание Fe в воде, кратность превышения ПДК (экологич. ситуация)	[5]	< 1 ПДК (нормальн.)	1–10 ПДК (относит. удовл.)	10–15 (чрезвыч.)	> 15 (экологич. бедствие)
Содержание Mn в воде, кратность превышения ПДК (экологич. ситуация)	[5]	< 1 ПДК (нормальн.)	1–10 ПДК (относит. удовл., в пределах гигиенич. нормативов)	10–15 (чрезвыч.)	> 15 (экологич. бедствие)

* НД — нормативный документ.

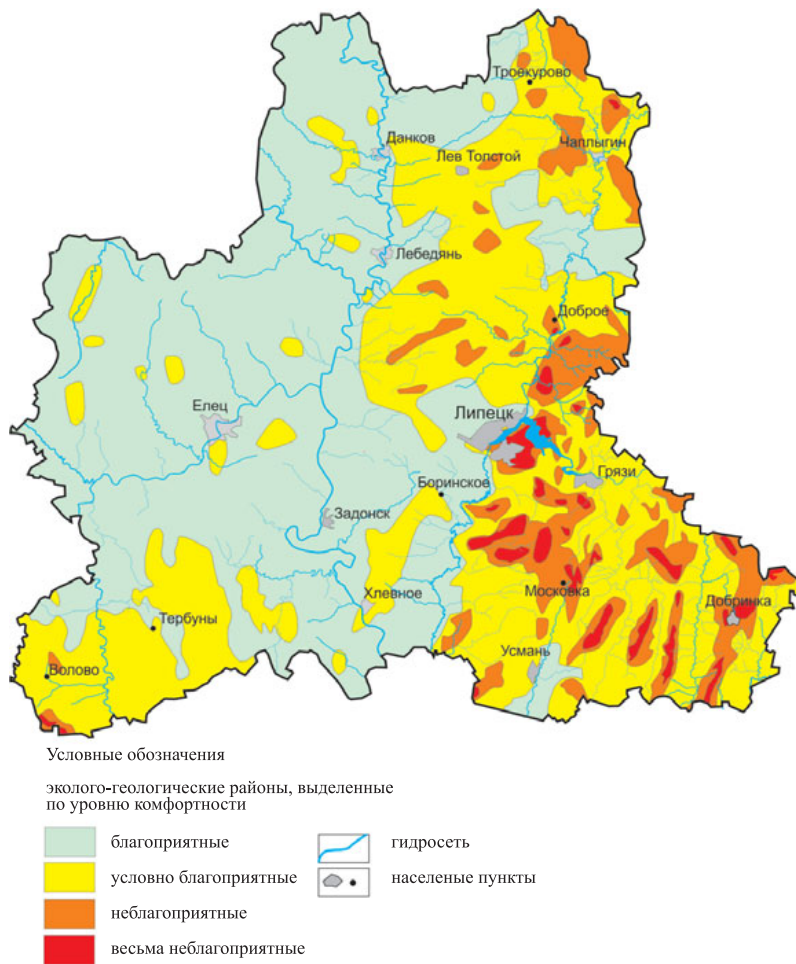


Рис. 4. Карта эколого-геологического районирования Липецкой области

грязнению подземных вод железом. Зона благоприятного состояния (при содержании железа в водах менее 1 ПДК) занимает большую часть территории Липецкой области. Зоны условно благоприятного состояния (1-10 ПДК) отмечены на юго-западе области (в Воловском и Тербуновском районах), а также занимают практически весь восточный сектор. Зоны неблагоприятного состояния (10-15 ПДК) отмечены на севере (в районе г. Чаплыгина), в районе г. Липецка (на левобережье р. Воронеж), а также на юго-востоке области (на водоразделе рек Усмань и Байгора). Небольшая зона отмечена на юго-западе области севернее села Волово. Зоны весьма неблагоприятного состояния (более 15 ПДК) отмечены в районе г. Липецка (на правом берегу р. Воронеж) а также на водоразделе рек Усмань и Байгора.

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области по загрязнению подземных вод марганцем. Зона благоприятного состояния (при содержании железа в водах менее 1 ПДК) занимает большую часть территории Липецкой области. Зоны условно благоприятного состояния (1-10

ПДК) отмечаются в виде локальных участков в западном секторе, на севере, в районах городов Чаплыгин и Лев Толстой, а также в восточном секторе области (в Добровском, Усманском и Добринском районах, районе г. Липецка). Зоны неблагоприятного состояния отмечаются в районе г. Липецка, а также в Добровском районе.

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области по плотности распространения циркумментов. В западном секторе циркумменты практически отсутствуют, за исключением лишь небольшого участка у юго-западной границы области. Центральный сектор отличается наличием довольно обширной зоны условно благоприятного состояния (с плотностью распространения циркумментов 10–30%) в его северной части, занимающей практически все пространство водораздела между реками Дон и Воронеж. В пределах данной зоны отмечаются локальные участки неблагоприятной обстановки (с плотностью распространения циркумментов 30–50%). Наибольшей плотностью распространения циркумментов отлича-

ется восточный сектор области. В Чаплыгинском и Добровском районах отмечаются локальные участки зон условно благоприятного и неблагоприятного состояния. Зона условно благоприятного состояния занимает практически все территорию юго-востока области в междуречье рек Воронеж и Матыра. Зоны неблагоприятного и весьма неблагоприятного состояния в юго-восточном секторе приурочены к главным водоразделам на территории Усманского, Добринского и Грязинского районов.

Карта эколого-геологического районирования Липецкой области была построена авторами путем мультипликативного наложения тематических слоев, отражающих особенности распространения циркумментов и сопровождающих их проявлений (рис. 4). Максимальное развитие площадей с неблагоприятной и весьма неблагоприятной ситуацией было выявлено в восточной и юго-западной частях области. Это обусловлено комплексом анализируемых параметров.

Пространственно площади оценочных категорий коррелируют с плотностью развития циркумментов. Субмеридиональная зональность пространственной структуры циркумментов (секторность) находит отражение в экологических категориях — в деградации почвенного покрова, радоновой опасности, загрязнении подземных вод железом и марганцем.

Все перечисленные виды неблагоприятных экологических ситуаций в Липецкой области вызваны новейшей тектонической активизацией глубинных разломов в зоне сопряжения Окско-Донской впадины и Среднерусского поднятия и отражают ступенчатый характер переходов между этими неотектоническими структурами. В пределах восточного сектора наиболее неблагоприятная экологическая ситуация, вызванная природными факторами, сложилась на трех участках:

- в юго-восточных районах (Грязинском, Усманском, Добринском);
- между г. Липецком и с. Добрым;
- на северо-востоке области в Чаплыгинском районе.

Заключение

В данной статье была предложена оригинальная методика циркумментно-морфологического анализа, которая позволяет осуществлять эколого-геологическое районирование территорий. Данная методика была апробирована для Липецкой области. Ее эколого-гео-



логическое районирование позволяет выделить четыре категории районов, на уровне экологической комфортности которых указывают циркументы как индикаторы повышенной геодинамической активности:

- благоприятные;
- условно благоприятные;
- неблагоприятные;
- весьма неблагоприятные.

Отнесение отдельных участков к тому или иному типу районов проводится согласно разработанной методике эколого-геологического районирования.

На основании полученных результатов предлагаются рекомендации по дальнейшему освоению территории Липецкой области. Так, в пределах районов благоприятной эколого-геологической ситуации возможны любые варианты и сценарии ее хозяйственного освоения. Условно благоприятные районы предполагают ограничения по строительству опасных и особо опасных объектов, но при этом возможны все виды другого строительства и сельскохозяйственного производства. В районах неблагоприятной эколого-геологической ситуации требуются ограничения по строительству жилых

и промышленных объектов, но их можно использовать как пастбищные и сенокосные угодья. Особое внимание следует обратить на эти участки при проектировании экологически опасных объектов, строительство которых может значительно усугубить

общую неблагоприятную экологическую ситуацию. Районы с весьма неблагоприятной эколого-геологической ситуацией целесообразно использовать для лесохозяйственных целей, размещения особо охраняемых природных территорий и т.п.

Список литературы

1. Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы геологического строения СССР // Проблемы физической географии. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1946. Т. 12.
2. Государственный контроль за использованием и охраной земель: нормативные материалы. Вып. 3 / под ред. С.Л. Громова. М.: Руслит, 1996. 416 с.
3. Ильяхи Д.В., Ильяхи В.В. О роли неотектонического и геоморфологического факторов возникновения гидрогеохимических аномалий железа и марганца (на примере Липецкой области) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2012. № 1. С. 209-219.
4. Косинова И.И., Барабошкина Т.А., Косинов А.Е., Ильяхи В.В. Экологическая геология Курской магнитной аномалии (КМА): монография. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2009. 215 с.
5. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: методика. М.: Минприроды РФ, 1992.
6. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. М.: Минстрой России, МНТКС, 1995.
7. Соловьев В.В. Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Объяснительная записка к карте структур центрального типа масштаба 1:10 000 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 110 с.
8. СП 2.6.1.758-99. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М.: Минздрав РФ, 1999.