

5. Козловский, Е.А. Комплексная программа глубинного изучения земных недр / Е.А. Козловский // Сов. геология. — 1982. — № 9. — С. 3–12.
6. Коновалов, Ю.Ф. Геодинамические полигоны — новое направление в развитии разведочной геофизики / Ю.Ф. Коновалов, С.У. Кухмазов, О.Г. Попова // Геофизика. — 2008. — № 2. — С. 45–51.
7. Михальцев, А.В. Глубинные геофизические исследования в сейсмоопасных зонах / А.В. Михальцев, Ю.К. Шукин, Л.Н. Солодилов и др. // Разведка и охрана недр. — 1990. — № 11. — С. 6–13.
8. Попова, О.Г. Мониторинг сейсмогеодинамической обстановки Кавказских минеральных вод / О.Г. Попова, Ю.Ф. Коновалов, С.У. Кухмазов, И.Н. Кадури // Разведка и охрана недр. — 1998. — № 2. — С. 16–19.
9. Ракитов, В.А. Глубинное строение Алтае-Саянского региона по результатам геофизических исследований методами МОВЗ и МТЗ / В.А. Ракитов, Е.Д. Алексанова, В.С. Андреев и др. / Глубинное строение и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и прилегающих районов / Матер. XX конф. — Воронеж: Научная книга, 2016. — С. 319–324.
10. Солодилов, Л.Н. Центр GEON им. В.В.Федынского — 35 лет научных исследований и производственных работ / Л.Н. Солодилов // Разведка и охрана недр. — 2003. — № 2. — С. 2–9.
11. Солодилов, Л.Н. Глубинные сейсмические зондирования земной коры / Л.Н. Солодилов / Ядерные взрывные технологии: эксперименты и промышленные применения — Снежинск, ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ, 2017. — С.184–219.
12. Солодилов, Л.Н. Глубинное строение пролива Невельского и прилегающих областей по данным геофизических исследований / Л.Н. Солодилов, Ю.Ф. Коновалов, А.В. Егоркин и др. / Строение, геодинамика и металлогения Охотского региона и прилегающих частей северо-западной Тихоокеанской плиты / Матер. симпозиума 24–28 сентября 2002 г. — Ю.-Сахалинск. — Т. 1. — С. 129–131.
13. Сурков, В.С. Сейсмическая томография при изучении земной коры Сибири / В.С. Сурков, В.Л. Кузнецов, А.С. Сальников и др. // Региональная геология и металлогения. — 2000. — № 10. — С. 117–124.
14. Solodilov, L.N. The GEON Center: 25 Years of Implementation of PNE in Studies of Earth's Deep Structure / L.N. Solodilov / Upper Mantle Heterogeneities from Active and Passive Seismology. Edd. Karl Fuchs. — 1997. — P. 1–10.

© Коллектив авторов, 2018

Костюченко Сергей Леонидович // kostgeo@mail.ru
 Маухин Андрей Викторович // mauhin60@mail.ru
 Кадури Игорь Николаевич // iefp@mail.ru
 Недядько Валентина Владимировна // geon_movz@mail.ru
 Ракитов Владимир Александрович // rakitov47@mail.ru
 Чернышев Юрий Геннадьевич // yuchern@mail.ru

УДК 553.981:553.982.2:528.87:528.88 (4)

Абушкевич С.А. (НИИКАМ — филиал ФГУП «ЦНИИмаш»), Волин К.А. (СПбГУ ИНЗ)

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Использование вегетационных индексов NDVI, NDWI и шестого спектрального канала космического спутника Landsat в сочетании со структурно-тектоническим дешифрированием материалов дистанционного зондирования Земли позволило определить местоположение перспективных для поиска нефтегазоносных (НГ) площадей и участков на территории Белоруссии, Украины и соседних областях. Впервые на данной территории отдешифрированы надвиговые структуры с южным и западным падением сместителей, которые рассматриваются в

*качестве потенциальных ловушек для углеводородов. **Ключевые слова:** дистанционное зондирование, спектральные аномалии, NDVI, NDWI, космоструктурное дешифрирование, нефтегазоносное месторождение, перспективная площадь, надвиговая зона, зона разломов, складчатость.*

Abushkevich S.A. (Branch of Central Research Institute of Machine Building, NIICAM), Volin K.A. (St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences)

PROSPECTIVE AREAS FOR HYDROCARBONS IN THE EAST EUROPEAN PLATFORM BASED ON REMOTE SENSING

*Using the vegetation indexes of NDWI, NDVI and data of Landsat band 6, combined with structure-tectonic interpretation of Landsat images, has allowed establishing the location of prospective areas for hydrocarbons. The interpretation results contain new structure-tectonic data of the areas inside Belarus, Ukraine, and adjacent areas. The thrust faults with the south and west dips of thrust fault planes and fan-shaped folds as potential hydrocarbon structural traps were firstly determined by space images in this areas. **Keywords:** remote sensing, satellite images interpretation, spectral anomalies, NDVI, NDWI, interpretive features, hydrocarbons, thrusts, fault zones.*

Давно сложилось мнение, что Восточно-Европейская платформа [5] в тектоническом плане является стабильной областью. При дешифрировании космических снимков выясняется, что дело обстоит не так просто. В настоящее время космические снимки дают возможность просмотреть и отдешифрировать большие территории примерно в одно время съемки и в одних каналах. На космоснимках Восточной и, частично, Центральной Европы видны не только крупные зоны крутопадающих разломов, но и протяженные надвиговые структуры с характерным чешуйчатым фоторисунком, а также крупные кольцевые структуры и структурные линии, отражающие складчатость в осадочных образованиях чехла (рис. 1).

Обширная территория, выбранная для изучения, является освоенной техногенно, что осложняет дешифрирование. Сельскохозяйственные угодья, а также закрытые четвертичными отложениями площади не дают возможности применить снимки высокого разрешения на большей части территории. В то же время дешифрирование снимков низкого пространственного разрешения способствует увеличению глубинности изучения разреза, дает возможность отдешифрировать крупные складчатые и тектонические структуры. Дешифрирование на данной территории в основном проводилось в масштабе 1:500 000 — 1:5 000 000, а на детальных участках — в масштабе 1:100 000 — 1:200 000. Изучались космические снимки спутника Landsat ETM+ за разные временные периоды. В итоге было использовано более 155 снимков.

Данная работа проделана для выявления структурно-тектонических и спектральных признаков НГ при космоструктурном дешифрировании территории, потенциальной на НГ. Получена локализация перспективных на НГ участков, в пределах которых было бы

целесообразно проводить наземные геофизические и геохимические исследования и поисковое бурение. В работе использован наименее затратный и быстрый способ выявления новых участков, перспективных на наличие НГ сырья, основанный на принципе аналогии между совокупностью структурных и спектральных признаков НГ объектов на эталонном месторождении и аналогичных объектов на изучаемой территории, выявленных в ходе дешифрирования и анализа данных съемочной системы Landsat ETM+. Ранее проделанная работа дала возможность выделить космоспектральные и космоструктурные признаки нефтегазоносности территорий [1].

Космоспектральные признаки НГ:

— геотермальные аномалии в тепловом шестом канале;

— положительные аномалии индекса NDWI*, косвенно указывающие на зоны разгрузки глубинных вод и флюидов;

— отрицательные аномалии вегетационного индекса NDVI, связанные с участками угнетенной растительности над залежью углеводородов (УВ).

Космоструктурные признаки НГ:

— надвиговые структуры, создающие экран при накоплении залежи нефти;

— места пересечения дуговых разломов кольцевых структур центрального типа с крутопадающими разломами, которые совместно создают проницаемую зону, облегчающую миграцию УВ;

— купольные структуры, являющиеся потенциальными ловушками для нефти, в том числе осложненные соляными диапирами;

— узлы пересечения крутопадающих разломов, создающие проницаемую для УВ вертикальную зону;

— структурные линии (слоистость);

— складчатые структуры, являющиеся дополнительными признаками структурных ловушек УВ.

Проведенная работа показала, что наилучшими для выявления местоположения перспективных НГ площадей являются ранневесенние снимки, отснятые сразу после таяния снега. В это время года поверхность Земли находится в равномерно холодном состоянии, поэтому небольшие в площадном и температурном

* NDWI. Нормализованный относительный индекс воды представляет собой спутниковый индекс, полученный от спутниковых каналов в ближней инфракрасной (NIR) области спектра и в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра. Отражение в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра фиксирует изменения как по содержанию воды в растительности, так и по губчатому строению мезофилла в растительном покрове, в то время как отражение в ближней инфракрасной (NIR) области спектра зависит от внутренней структуры листьев и содержания сухого вещества в листьях (но не содержания воды). Сочетание NIR с SWIR удаляет вариации, вызванные внутренней структурой листьев и содержанием сухого вещества в листьях, повышая точность в получении содержания воды в растительности. Количество воды, доступной во внутренней структуре листьев, в основном управляет коэффициентом спектрального отражения в интервале SWIR электромагнитного спектра. Следовательно, отражение в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра отрицательно связано с содержанием воды в листе NDVI. Нормализованный относительный индекс интенсивности фотосинтеза.

плане аномалии, связанные с НГ залежами, хорошо выделяются на поверхности Земли.

Основываясь на них, рассмотрим перспективы НГ территории западной части Восточной Европы. Структурно-тектоническая картина изучаемой территории отличается некоторыми тектоническими границами от представленной на тектонической карте Европы [4]. Согласно выделенным по космоснимкам линиям разрывных нарушений Украинский щит и Воронежская антеклиза в своих северных границах имеют пологие тектонические контакты с осадочным чехлом в виде надвиговых структур, имеющих сместитель, падающий в южном и юго-восточном направлениях (рис. 1).

Проанализировав результаты нашего дешифрирования, можно заключить, что значительную, если не основополагающую роль в строении Восточной Европы играют надвиги, которые и определяют ее структурно-тектоническую картину (рис. 1). По времени формирования и направлению сжатия надвиги делятся на два этапа. Первый этап — наиболее длительный, проходил до раннемеловой эпохи включительно и характеризовался субширотным направлением сил сдавливания пород. В результате субширотной деформации образуются складчатые структуры с субмеридиональными и северо-северо-западными осями складок. При преодолении пластичности пород происходят срывы и образование надвиговых структур с аналогичным простираем и в основном с падением сместителя в сторону приложения силы сдавливания, то есть в западном и юго-западном направлениях. Второй этап продолжается по настоящее время. Резкая смена в раннемеловую эпоху направления сжатия на меридиональное привела к образованию складчатости с осями субширотного и северо-восточного направления в районе надвиговых структур с падением сместителя в южном и юго-восточном направлениях. Данная картина наблюдается в Альпах, северной области Карпат, на северо-западной границе Украинского щита и Воронежской антеклизы.

На западе исследуемой территории один из надвигов первого этапа складчатости (рис. 1) сопровождается северо-восточный борт Трансеевропейской сутурной зоны (линию Тейсейра—Торнквиста) [5]. Наиболее ярко надвиг со сместителем запад-юго-западного направления падения проявлен в юго-восточной части сутурной зоны, отделяя Карпатский структурный блок от Украинского щита. Здесь породы интенсивно смяты в складки с осями северо-западного простираения под влиянием надвига первого этапа деформации. Один из таких надвигов в качестве достоверного указан на геологической карте СССР масштаба 1:1 000 000 (Лист N-34, (35), Н.С. Расточинская, Т.В. Никулина, В.М. Мироненкова, 1978 г.).

В восточной части исследуемой территории аналогичный надвиг первого этапа деформации дешифрируется по юго-западному борту Пачелмского авлакогена (рис. 1). Основное падение сместителей надвигов первого этапа — на запад, запад-юго-запад. Следует отметить, что складчатость первого этапа деформации с субмеридиональными и северо-северо-западными направлениями осей складок широко развита в Восточной Европе.

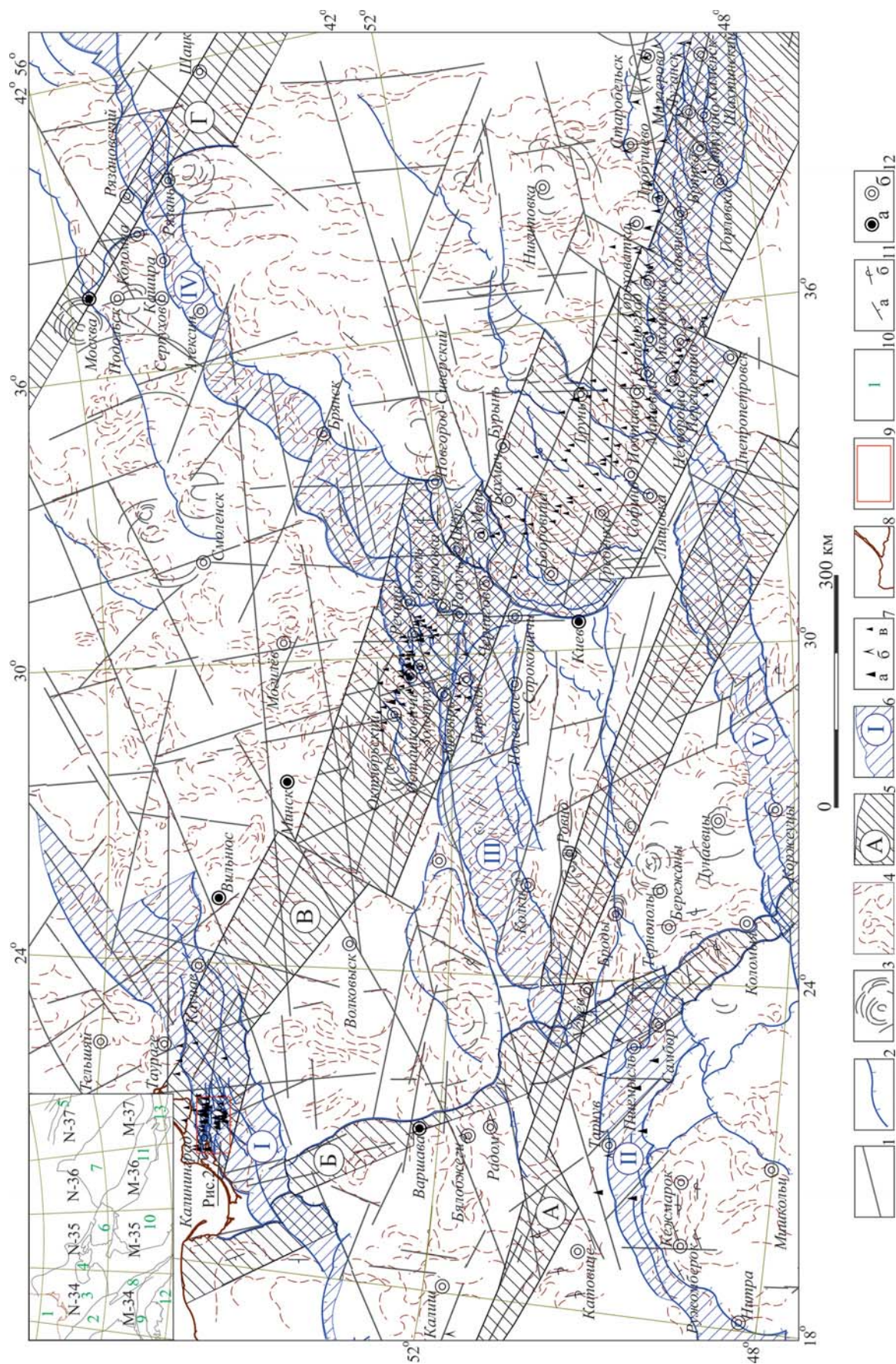


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Восточной Европы по данным дистанционного зондирования Земли: 1–3 — разрывные нарушения; 1 — крупноталающие, 2 — пологопадающие (надвиги), 3 — дуговые разломы кольцевых структур; 4 — структурные линии; 5–6 зоны; 5 — Висла–Запорожская, 6 — Трансевропейская сутура [5]; В — Калининградско-Донецкая, Г — Пачелмская, 6 — надвиг; 1 — Калининградская, 2 — Западно-Карпатская, 3 — Луковско-Ратновская, 4 — Днепровско-Окая, 5 — Днепровско-Донская; 7 а, б — месторождения: а — нефти, б — газа, 7 в — проявления нефти; 8 — береговая линия; 9 — контур рисунка 2; 10 — обозначения геологических и географических объектов: 1 — Балтийское море, 2 — Лодзинская впадина, 3 — Мазурско-Белорусская антеклиза [3], 4 — Мазурский выступ [3], 5 — Пачелмский выступ [3], 6 — Припятская впадина [3], 7 — Воронежская антеклиза [4], 8 — Предкарпатский прогиб [4], 9 — Западные Карпаты [4], 10 — Украинский щит, 11 — Днепровско-Донецкая впадина [4], 12 — Паннонский бассейн [4], 13 — Донецкая впадина [4]; 11 — залегание пород: а — нормальное, б — опрокинутое; 12 — города: а — столицы государств, б — населенные пункты.

Крупные складки субмеридионального простираения дешифрируются по линии городов Таураге и Тельшай (Литва) (рис. 1). Ширина этой складчатой зоны составляет 100 км, а длина — 200 км. Вторым примером может служить веерообразная синклинали, расположенная по линии городов Катовице и Калиш (Польша), ось ее вытянута в север-северо-западном направлении. Судя по характеру соотношения северо-восточного и юго-западного крыльев этой веерообразной синклинали с рельефом местности, крылья ее имеют опрокинутое залегание с падением соответственно на северо-восток и юго-запад. Замок в южной части синклинали широкий (рис. 1). Ширина этой веерообразной синклинали составляет 100 км, длина около 200 км. Третья вытянутая веерообразная синклинали, сопряженная с юго-восточной частью Предкарпатского прогиба [4], расположена по линии городов Бережаны и Коломыя (Украина). Ширина этой вытянутой веерообразной синклинали составляет 50 км, длина 150 км. Большое количество складок субмеридионального простираения дешифрируется в районе Воронежской антеклизы (рис. 1).

Главной надвиговой структурой второго этапа складчатости является надвиговая зона, отчетливо дешифрированная нами на космических снимках от Альп до Урала. Фронт этой надвиговой зоны, со сместителем южного и юго-восточного падения, прослежен по космическим снимкам от Альп, через Западные Карпаты, северные части Украинского щита и Воронежской антеклизы, по правобережью р. Ока и далее на восток до Урала. Наибольшая ширина надвиговой зоны на изучаемой территории составляет около 135 км, длина около 2 тыс. км. В пределах изучаемой территории эта надвиговая зона делится на три части: Западно-Карпатскую, Луковско-Ратновскую (по аналогии с Луковско-Ратновским горстом [3]) и Днепровско-Окскую (рис. 1). Первая часть этой зоны ограничивает с севера Центральные Западные Карпаты, входящие в Альпийско-Карпатско-Паннонскую систему [5], вторая — Украинский щит, третья — Воронежскую антеклизу [4]. Все они сложены из ряда чешуйчатых надвигов, напользающих друг на друга с юго-юго-востока в северо-западном направлении.

Между Альпийско-Карпатско-Паннонской системой и Украинским щитом по северо-западной системе крутопадающих разломов, входящих в Трансевропейскую сутурную зону, на космоснимках дешифрируется левосторонний сдвиг. Амплитуда сдвига около 100 км. Смещенными оказались относительно друг друга Западно-Карпатская и Луковско-Ратновская надвиговые зоны.

Древние образования Украинского щита через систему чешуйчатых надвигов Луковско-Ратновской надвиговой зоны надвинуты на отложения Припятской впадины. Далее на северо-восток в приустьевой части р. Припять наблюдается сочленение Днепровско-Окской надвиговой зоны с Луковско-Ратновской надвиговой зоной (по дуге городов Киев, Чернигов, Щорс). Судя по результатам дешифрирования, происходит чешуйчатый надвиг в северо-западном направлении (по сместителю юго-восточного падения) отложений цент-

ральной части Днепровско-Донецкой впадины на отложения ее северо-западной части, а также отложений северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины на отложения Припятской впадины. Амплитуда каждого надвига составляет более 50–55 км. Тектонический контакт между Украинским щитом и Воронежской антеклизой дешифрируется по системе северо-западных крутопадающих разломов, входящих в Калининградско-Донецкую зону разломов, осложняющих Днепровско-Донецкую впадину. В районе городов Щорс и Новгород-Сиверский дешифрируется правосторонний сдвиг Калининградско-Донецкой зоны разломов в результате перемещения в северо-западном направлении блока пород, слагающих центральную часть Днепровско-Донецкой впадины. Смещение проходило при активном надвиговом процессе, а левосторонний сдвиг Украинского щита относительно Альпийско-Карпатско-Паннонской системы произошел уже после образования надвигов. Осложнение контакта древних образований Воронежской антеклизы с Московской синеклизой наблюдается по системе чешуйчатых надвигов Днепровско-Окской надвиговой зоны.

В южной части территории исследования нами дешифрирована Днестровско-Донская надвиговая зона субширотного простираения с южным падением сместителя. Наибольшая ее ширина — 100 км, а длина в пределах территории исследования — 1 250 км. По этой надвиговой зоне происходит перемещение южной части Украинского щита на его центральную часть при активизации надвиговых процессов в северном направлении. Эти подвижки могли послужить причиной сдвигов и перемещений Украинского щита и Воронежской антеклизы в северном и северо-западном направлениях.

В подтверждение существования надвиговых зон второго этапа деформаций, к которой относится Днестровско-Донская надвиговая зона, можно сослаться на ряд геологических карт. Геологическую карту СССР масштаба 1:1 000 000 листа М-37 (В.С. Ковалев и др., 1960), на которой в южной части листа в большом количестве отображены надвиговые структуры с южным и юго-восточным падением сместителя. В приустьевой части р. Припять на разрезе геологической карты СССР листа N-36-XXXI (Гомель) масштаба 1:200 000 (М.С. Кичкин, Н.И. Рудницкий, 1978) отрисовано падение девонских отложений в южном направлении, что согласовывается с направлением падения надвигов в этом районе.

На северо-западе исследуемой территории, вблизи Балтийского побережья, дешифрируется Калининградская надвиговая зона (рис. 1). Она состоит из системы чешуйчатых надвигов, имеющих общее юго-восточное направление падения сместителей. Выделяются отдельные чешуи субширотного простираения с южным падением сместителя. Протяженность Калининградской надвиговой зоны в пределах рассматриваемой территории (ее западное продолжение уходит за пределы) — 800 км при средней ширине 110 км.

При надвиговых процессах второго этапа деформации складчатость первого этапа осложняется наложенной на нее складчатостью второго этапа. При этом

субмеридиональные складки гофрированы и осложнены складками второго порядка с осями субширотного и северо-восточного простираения. В то же время зеркало складчатости остается близким к субмеридиональному направлению. Крупные веерообразные складки второго этапа деформаций имеют субширотное простираение и дешифрируются в районе Карпат по линии городов Ружомберок и Кежмарок (Словакия). Ширина этой веерообразной синклинали 55 км, длина 160 км. В районе г. Радом (Польша) дешифрируются опрокинутые крылья веерообразной синклинали, имеющие падения в северном и южном направлениях при ширине складки около 70 км и длине 100 км (рис. 1). Еще одна субширотная веерообразная синклинали отдешифрирована в 40 км севернее г. Днепропетровск (Украина), ее ширина 65 км и длина 160 км. Северное и южное крылья опрокинуты. Мелкая складчатость второго этапа наблюдается везде в районе надвиговых зон, имеющих оси субширотного и северо-восточного простираения согласно с простираением формирующих их надвигов (рис. 1).

Кольцевые структуры и дуговые разломы кольцевых структур на исследуемой территории развиты слабо. На севере площади в районе Смоленска отдешифрирована восточная часть крупной кольцевой структуры с радиусом около 300 км. Ряд ее дочерних, более мелких кольцевых структур диаметром около 60 км дешифрируется в районе городов Москва, Подольск, Рязань. Вторая группа кольцевых структур отдешифрирована в районе г. Луганск. Западная часть одной из кольцевых структур с центром в г. Миллерово имеет радиус 105 км с центром в г. Брянка — диаметр 70 км. Кольцевая структура с центром вблизи г. Никитовка имеет радиус 70 км и находится в истоках р. Оскол, левого притока р. Северский Донец. Еще ряд мелких кольцевых структур отдешифрированы на сочленении запад-юго-западного борта Украинского щита и блока юрских отложений Предкарпатского прогиба [4] (рис. 1). Диаметр этих кольцевых структур до 60 км, а центры их находятся вблизи линии городов Колки, Ровно, Броды, Тернополь, Дунаевцы (Украина). Для выяснения космоспектральных признаков НГ в качестве эталонного участка была взята территория Калининградской области, а точнее площади, где известны залежи нефти [2]. В ходе космоструктурного дешифрирования космических снимков как непосредственно территории Калининградской области, так и сопряженных изучаемых территорий, использовались многоспектральные данные космической съемочной системы Landsat ETM+ (189 виток, 22 ряд, съемка 04 мая 2002 г.). На основе этих данных проведены:

Структурно-тектонический анализ (рис. 2В).

Тепловой анализ шестого канала КС (рис. 2А).

Анализ спектральных характеристик растительного покрова по расчетным индексам NDWI [6, 7] (рис. 2Б) и NDVI (рис. 2Г).

Полученные структурно-тектонические и спектральные характеристики месторождений Калининградской области как эталонной территории представ-

лены на рис. 2. Выявлено большое количество надвиговых дислокаций с пологими падениями плоскостей сместителя в южном и юго-юго-восточном направлениях. Причем преобладают надвиговые структуры, перемещавшиеся с юга. Несколько большее их сгущение наблюдается в районе г. Калининград (рис. 2В), где происходит надвигание чешуй одна на другую. К надвиговым структурам приурочены серии структурных линий, вытянутых согласно с простираением фронта надвигов и, вероятно, отражающих слоистость и складчатые деформации осадочных пород. Единичные кольцевые структуры диаметром 7 и 2,5 км отдешифрированы только на севере эталонной территории.

С надвиговыми дислокациями и сопровождающими их складчатыми структурами связан ряд известных НГ месторождений [1], когда под воздействием направленного движения больших масс пород сформировались продуктивные структурные ловушки различных типов, приуроченные к фронтальным зонам складчато-надвиговых систем. Во фронтальных зонах складчато-надвиговых систем были созданы условия для возникновения разнообразных складчатых комплексов, осложненных разломами и структурами второго, третьего порядков. Под влиянием тектонического стресса произошло уплотнение пород, снижение их пористости и возникновение условий для миграции углеводородов в области повышенной пористости и меньшего давления. Причем уплотненные породы надвига сыграли роль экрана, ограничивающего миграцию флюидов из зоны накопления.

Месторождения с начальными извлекаемыми запасами более 1 млн т [2] (рис. 2Д) наблюдаются именно в районе развития молодого аллохтона и крутопадающих разломов (рис. 2В, Д) северо-западного простираения. Дешифрируется также запад-северо-западная и субширотная системы крутопадающих разломов. Редко встречаются субмеридиональные и северо-восточные разломы. На эталонной площади Калининградской области дешифрируется субмеридиональная система складчатости первого этапа, а вблизи фронта надвигов дешифрируется складчатость второго порядка с осями, сопряженными с фронтом надвига.

В структурном плане все залежи нефти приурочены к надвигам с южным и юго-восточным падением сместителя, при этом наиболее удаленная точка залежи нефти от фронта надвига находится на расстоянии в 2,8 км. Вблизи надвигов дешифрируются структурные линии, отмечающие оси складок, сопряженные с фронтом надвигов.

Тепловые аномалии (6-й канал спутника Landsat за 4 мая 2002 г.) охватывают гораздо большую площадь, чем залежи нефти на известных месторождениях [2] (рис. 2А). Некоторые месторождения выходят за пределы контуров тепловых аномалий. Наибольшее расстояние от края контура до дальней точки залежи нефти составляет 3,5 км. Необходимо учитывать это расстояние при выборе площади поисковых работ.

Аномалии NDWI на эталонной площади Калининградской области вытянуты в запад-северо-западном

направлении (рис. 2Б), как и известные НГ залежи на данной территории (рис. 2Д). Близко к ним расположены и спектральные аномалии NDVI (рис. 2Г). Места совпадения тепловых аномалий и аномалий NDWI и NDVI со структурно-тектоническими особенностями (рис. 2В) на эталонной площади являются наиболее значимыми поисковыми признаками и служат для выделения перспективных участков на поиски НГ месторождений (рис. 2Д). Известные НГ залежи в большинстве своем расположены непосредственно или вблизи выделенных перспективных площадей. Эти площади неправильной или вытянутой формы. Наибольшая из них, расположенная южнее Ушаковского залежи, имеет размеры 10 × 12 км. Крайняя точка залежи удалена от перспективной площади на 3,5 км. Это расстояние и следует принимать за буферную зону при планировании поисковых работ на НГ.

На эталонном участке были выделены установленные космогеологические признаки для оконтуривания перспективных НГ площадей, которые ранее использовались при прогнозных работах [1]. Практически не нашли отражения в поисковых НГ признаках дуговые разломы кольцевых структур, присутствие которых сильно зависит от района поисков. Как видно на схеме (рис. 1), основные скопления известных НГ месторождений и проявлений приурочены к пересечению Ка-

лининградско-Донецкой зоны разломов с Калининградской, Луковско-Ратновской и Днестровско-Донской надвиговыми зонами. Этой же системой крутопадающих разломов ограничено скопление НГ месторождений и проявлений в Днепроовско-Донецкой и Донецкой впадинах (рис. 1).

Для проверки работоспособности полученных на эталонном участке космоструктурных и космоспектральных признаков НГ нами были рассмотрены уже известные НГ площади в районе Припятской [3] и Днепроовско-Донецкой впадин. Калининградский нефтеносный узел был рассмотрен ранее при анализе эталонной площади (рис. 2).

Нефтегазоносная площадь Припятской впадины представлена двумя крупными месторождениями — Осташковским и Речицким, которые были открыты и введены в эксплуатацию с 1969 по 1975 г. [3]. В настоящее время разрабатываются несколько средних — Вашанское (в 17 км восточнее г. Октябрьский), Залатухинское (в 8,5 км севернее г. Золотуха) и ряд мелких. Все они находятся вблизи надвиговых зон с хорошо развитой сетью крутопадающих разломов северо-западного простирания. В подчиненном количестве присутствуют разломы северо-восточного, субширотного и субмеридионального простирания. Вблизи НГ месторождений хорошо развита складчатость первого

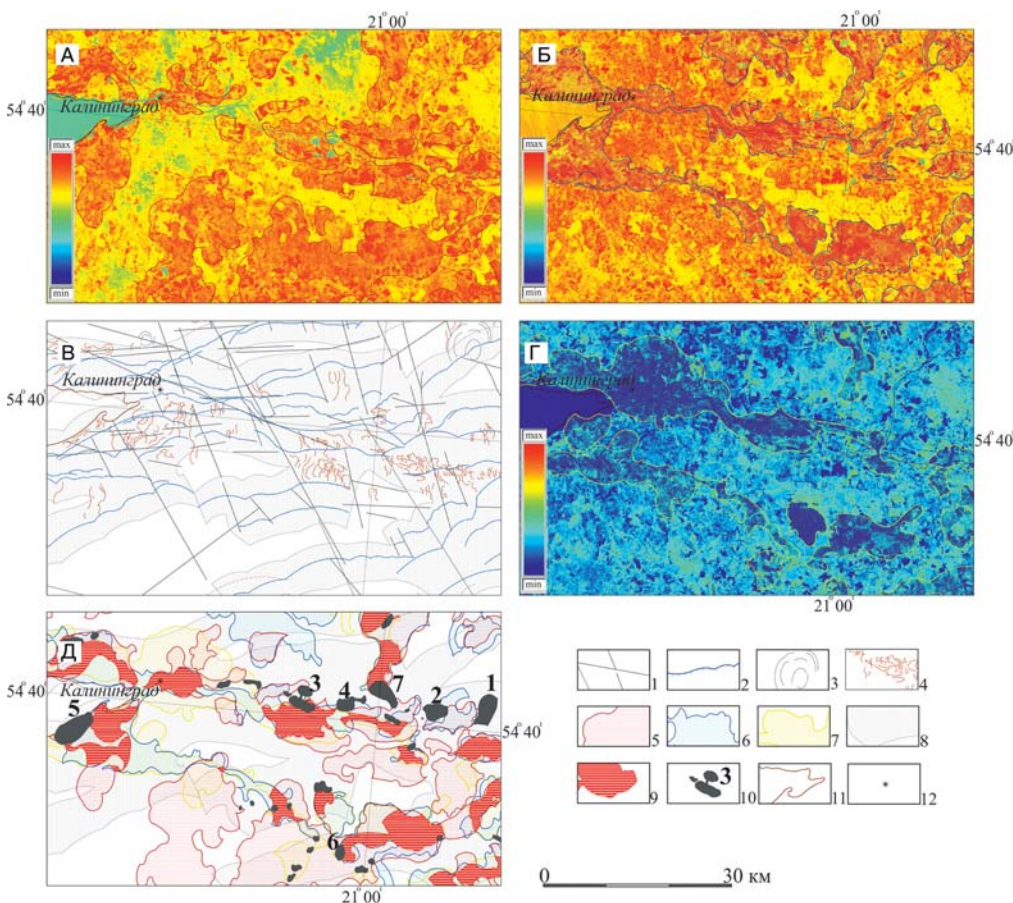


Рис. 2. Спектральные аномалии и структурно-тектонические элементы, отражающие местоположение залежей нефти в районе г. Калининград: А — данные теплового (шестого) канала (съемка 04 мая 2002 г.); Б — распределение индекса NDWI (съемка 04 мая 2002 г.); В — схема дешифрирования НГ площади по комплексу структурных признаков; Г — распределение индекс NDVI (съемка 04 мая 2002 г.); Д — результирующая схема структурных и спектральных признаков местоположения нефтегазоносных залежей. Условные обозначения: 1–3 (на В) — разрывные нарушения: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие (надвиги), 3 — дуговые разломы кольцевых структур; 4 — структурные линии; 5 — площади аномальных значений теплового канала (на Д); 6 — площади аномальных значений индекса NDWI (на Д); 7 — площади аномальных значений индекса NDVI (на Д); 8 — площади, выделенные по комплексу структурных признаков (на В и Д); 9 — наиболее перспективный (на Д) участок на месте пересечения всех выделенных признаков нефтегазоносности; 10 — залежи нефти

с запасами более 1 млн т [2] для месторождений: 1 — Красноборское, 2 — Западно-Красноборское (Центральная), 3 — Ушаковское (Южная и Северная), 4 — Малиновское (Южная и Северная), 5 — Ладужинское, 6 — Зайцевское, 7 — Дейминское; 11 — береговая линия; 12 — г. Калининград (на А, Б, В, Г, Д)

этапа с субмеридиональными осями складок. В районе Припятской низменности крутопадающую тектонику усиливают субмеридиональные разрывные нарушения, которые при прослеживании в южном направлении в основном перекрываются Луковско-Ратновской и Днепроовско-Окской надвиговыми зонами. Некоторые из меридиональных разломов подновляются при активизации Днестровско-Донской надвиговой зоны, расположенной южнее. Подновление происходит на стыке Луковско-Ратновской и Днепроовско-Окской надвиговых зон севернее г. Киев, судя по меридиональному руслу р. Днепр. При анализе площади с известными НГ месторождениями Припятской впадины видно, что они приурочены к устойчивой группе небольших по площади аномалий теплового канала (данные космических снимков спутника Landsat ETM+: 182 виток, 23 ряд, 6 мая 2003 г. и 183 виток, 23 ряд, 26 марта 2003 г.). Аномалии вытянуты по структурным линиям субмеридионального простирания, то есть по выходам на поверхность компетентных слоев, содержащих углеводороды в рассеянном состоянии, мигрирующих из глубины. В этих же местах сосредоточены и аномалии NDWI и NDVI, они такие же мелкие, как и тепловые аномалии и также вытянуты в субмеридиональном направлении. Площади, перспективные на выявление НГ месторождений по совокупности космогеологических признаков, расположены по право- и левобережью р. Припять, в ее средней и приустьевой частях (рис. 3). В этих местах интенсивно развиты чешуйчатые надвиговые структуры и складчатость, сопряженная с надвигами (рис. 1), а также распространены тепловые аномалии и аномалии NDWI и NDVI. Особое внимание заслуживает приустьевая часть р. Припять, где наблюдается интенсивная тепловая аномалия трапециевидной формы (рис. 3).

В ходе дешифрирования выявлена приуроченность спектральных аномалий к известным месторождениям Днепроовско-Донецкой впадины, местоположение которых дано на карте полезных ископаемых листа М-36 масштаба 1:1 000 000 (Г.Г. Годубев, И.И. Мароховская и др., 1978). Все НГ месторождения и проявления Днепроовско-Донецкой впадины (рис. 1) можно разделить по площади на три группы: Северо-Западную, Центральную и Юго-Восточную. Эта группа НГ месторождений на структурно-тектонической схеме (рис. 1) расположена в пределах Калининградско-Донецкой зоны разлома, между Днепроовско-Окской и Днестровско-Донской надвиговыми зонами.

Северо-Западная группа НГ проявлений вытянута меридионально и находится в 50 км юго-восточнее г. Чернигов, вблизи городов Мена и Бахмач (Украина). Эта группа НГ проявлений наблюдается непосредственно в Днепроовско-Окской надвиговой зоне, на пересечении большого количества чешуйчатых надвигов юго-восточного падения с крутопадающими разломами северо-западного простирания (рис. 1). В местах их пересечений выделено две перспективные площади: одна в районе г. Мена, вторая, сдвоенная, возле городов Бахмач и Бурынь (рис. 3).

Центральная группа НГ месторождений и проявлений расположена между городами Гребенка, Софьино и Грунь и приурочена к редкой сети надвигов юго-восточного падения, крутопадающим разломам северо-западного простирания и складчатости первого и второго этапа (рис. 1). Мелкие аномалии NDWI и NDVI неправильной, реже вытянутой формы, в сочетании с тепловыми аномалиями выстраиваются в цепочки субмеридионального простирания по направлению складчатости первого этапа. По результатам нашего дешифрирования выделено три перспективные площади в районе городов Гребенка, Софьино, Лящовка. Первая, наиболее большая, несколько вытянута в широтном направлении, имеет длину около 80 км и ширину 50 км. Остальные — округлой формы, диаметром 15–20 км (рис. 3).

Юго-Восточная группа (совместно с НГ месторождениями Донецкой впадины в районе г. Луганск) вытянута в широтном направлении и расположена в основном в автохтоне и во фронте Днестровско-Донской надвиговой зоны. В пределах этой надвиговой зоны широко развита складчатость, сопровождающая надвиги, с осями субширотного простирания. Отдешифрированные структуры совпадают с показанными на геологической карте СССР масштаба 1:1 000 000 листа М-37 (В.С. Ковалев и др., 1960). Крутопадающие разломы северо-западного простирания смещены по северо-восточным разломам с левосторонним и частично с правосторонним сдвигами, как следствие давления с юга и юго-востока (рис. 1). Тепловые аномалии и аномалии NDWI и NDVI неправильной формы находятся в основном вблизи надвигов юго-восточного падения на пересечении с крутопадающими разломами северо-западного простирания. На месте расположения группы газовых месторождений, вблизи фронта Днестровско-Донской надвиговой зоны (по линии населенных пунктов Михайловка, Гороховатка, Старобельск) наблюдаются только тепловые аномалии и лишь на востоке площади, в районе городов Миллерово, Каменск-Шахтинский, отмечаются небольшие разрозненные аномалии NDWI и NDVI (рис. 3). В пределах Юго-Восточной группы НГ месторождений и проявлений выделено пять перспективных НГ площадей, расположенных по окружности, радиусом до 50–70 км с центром вблизи г. Красноград. Длина наибольшей из этих площадей возле г. Красноград около 80 км (рис. 3).

Выводы

На территории Восточной Европы максимальные скопления тепловых аномалий и аномалий вегетационных индексов NDWI и NDVI располагаются вдоль Калининградско-Донецкой зоны разломов, что выделяет ее как перспективную на поиски НГ месторождений. Кроме того, в пределах этой вытянутой в северо-западном направлении зоны выделяются три обособленные площади: Калининградская, Припятская и Днепроовская.

На Калининградской площади, рассмотренной выше (рис. 2), выделяется два участка: Западный и Восточный. На Припятской площади, выходящей за

пределы Калининградско-Донецкой зоны разломов, выделяется два участка. Первый участок — Припятский — располагается на юге-востоке Белоруссии, от г. Волковыск до г. Карповка. На этой большой площади наблюдаются скопления мелких тепловых аномалий и аномалий вегетационных индексов NDWI и NDVI, по которым выделяются мелкие перспективные площади неправильной формы. Второй участок Устьприпятский, наиболее перспективный, непосредственно примыкает своей северной границей к выделенному участку Припятскому и находится в приустьевой части р. Припять. Насыщенность южной части Белоруссии надвиговыми структурами и густым переплетением аномалий NDWI и NDVI с тепловыми аномалиями дает перспективы для поиска НГ месторождений в пределах право- и левобережья р. Припять.

На Днепровской площади (рис. 3) наблюдаются три разрозненных группы перспективных площадей. Первая — в районе городов Мена, Бахмач и Бурынь, вторая — в районе городов Гребенка, Софьино, Ляшовка и третья — вдоль городов Нехвороща, Машевка, Красноград, Перещепино. Обособленно расположена перспективная площадь в районе г. Бобровица (Украина). Заслуживают внимания скопления спектральных аномалий на юго-востоке Днепровской площади в районе городов Миллерово и Каменск-Шахтинский, где дешифрируются кольцевая структура с радиусом 105 км и фронт Днестровско-Донской надвиговой зоны (рис. 1) с тепловыми и вегетационными аномалиями NDWI и NDVI (рис. 3). Для газовых месторождений характерно совмещение тепловых аномалий и надвиговых зон при отсутствии аномалий вегетационного индекса NDWI и NDVI. Такие газовые месторождения наблюдаются в 13 км юго-западнее г. Тарнув (Польша) и между городами Михайловка, Гороховатка, Дробышево (Харьковская обл.) и Старобельск (Луганская обл.).

По результатам проведенного анализа спутниковых данных и выявленных космогеологических признаков поиска НГ месторождений можно сделать следующие выводы о перспективности обнаружения НГ залежей в Восточной Европе.

Основное внимание при планировании поисково-разведочных работ на НГ месторождения следует уделить приустьевой части р. Припять, а также ее долине в среднем течении, имеющей большое количество чешуйчатых надвигов Луковско-Ратновской надвиговой зоны (рис. 1). Первоначально все расположенные в приустьевой части р. Припять перспективные площади следует рассматривать как единую перспективную Устьприпятскую площадь, в пределах городов Наровля (Беларусь), Радуль, Сорокошичи, Полесское (Украина), размером 3 500 км² (рис. 3).

Весьма перспективно на НГ место водосбора левых притоков р. Припять, между городами Волковыск, Пинск, Мозырь, Карповка (Беларусь) (рис. 3). Сгущение в этом месте спектральных аномалий и большого количества надвигов с южным падением сместителя дают предпосылки для планирования в этих местах

поисково-разведочных работ на промышленные НГ скопления в автохтоне и аллохтоне надвигов.

Следует уделить особое внимание группе перспективных площадей юго-восточнее г. Полтава, в узле пересечения Днестровско-Донской надвиговой зоны с Калининградско-Донецкой зоной разломов (рис. 1). Перспективные площади приурочены к опрокинутому северному крылу субширотной складки второго этапа складчатости и имеют площадь в 6 000 км². Пять перспективных участков (вблизи городов Машевка, Красноград, Перещепино, Нехвороща) расположились по периметру перспективной площади. Наибольшая из этих перспективных площадей, размером 1 350 км², расположена в районе г. Красноград (Украина).

Яркая тепловая аномалия и связанный с ней перспективный участок субширотного простирания наблюдается между городами Бахмач и Бурынь (Украина). Площадь перспективного участка — 1 600 км² (рис. 3).

Перспективна зона, расположенная в узле пересечения фронта Западно-Карпатской надвиговой зоны с северо-западной Трансъевропейской сутурной зоной (рис. 3), причудливо изогнута. Форма перспективных площадей практически повторяет структурные линии, что говорит о связи НГ залежей не только с надвигами и крутопадающими разломами, но и со складчатостью. Размер серповидной перспективной площади вблизи г. Пшемысль (Польша) около 130 км². В 37 км юго-восточнее Пшемысльской площади, возле г. Самбор (Украина), расположены три мелкие перспективные площади, вытянувшиеся в северо-восточном направлении, вдоль долины р. Днестр. Длина наибольшей из них — 13 км при ширине 3 км.

Возле г. Угнев (Украина) в узле пересечения северо-западной Висла-Запорожской зоны разломов, меридионального разлома и второстепенного надвига юго-западного падения выделены две перспективные площади размером 57 и 9 км², которые можно объединить в одну перспективную площадь. В 105 км юго-восточнее г. Угнев, возле г. Броды (Украина), выделяется субширотная перспективная площадь (155 км²), расположенная в аллохтоне восток-северо-восточного надвига, пересекающего кольцевую структуру радиусом 10 км.

В Калининградском НГ узле (рис. 3) выделяются мелкие перспективные площади, как в западной части Калининградской области, так и в восточной. Вероятно, они представляют собой единую потенциальную НГ структуру, приуроченную к надвигам с южным и юг-юго-восточным падением сместителя.

На юго-западе Западно-Карпатской надвиговой зоны, в 10 км юго-западнее г. Нитра (Словакия), выявлена перспективная площадь округлой формы площадью 120 км².

На территории Венгрии, в 25 км северо-западнее г. Мишкольц, выделена перспективная площадь в 57 км², расположенная и в автохтоне, и в аллохтоне надвига с юго-восточным падением сместителя.

На северо-западе Молдавии, у г. Коржеуцы, в аллохтоне Днестровско-Донской надвиговой зоны, выделена перспективная площадь размером около 120 км².

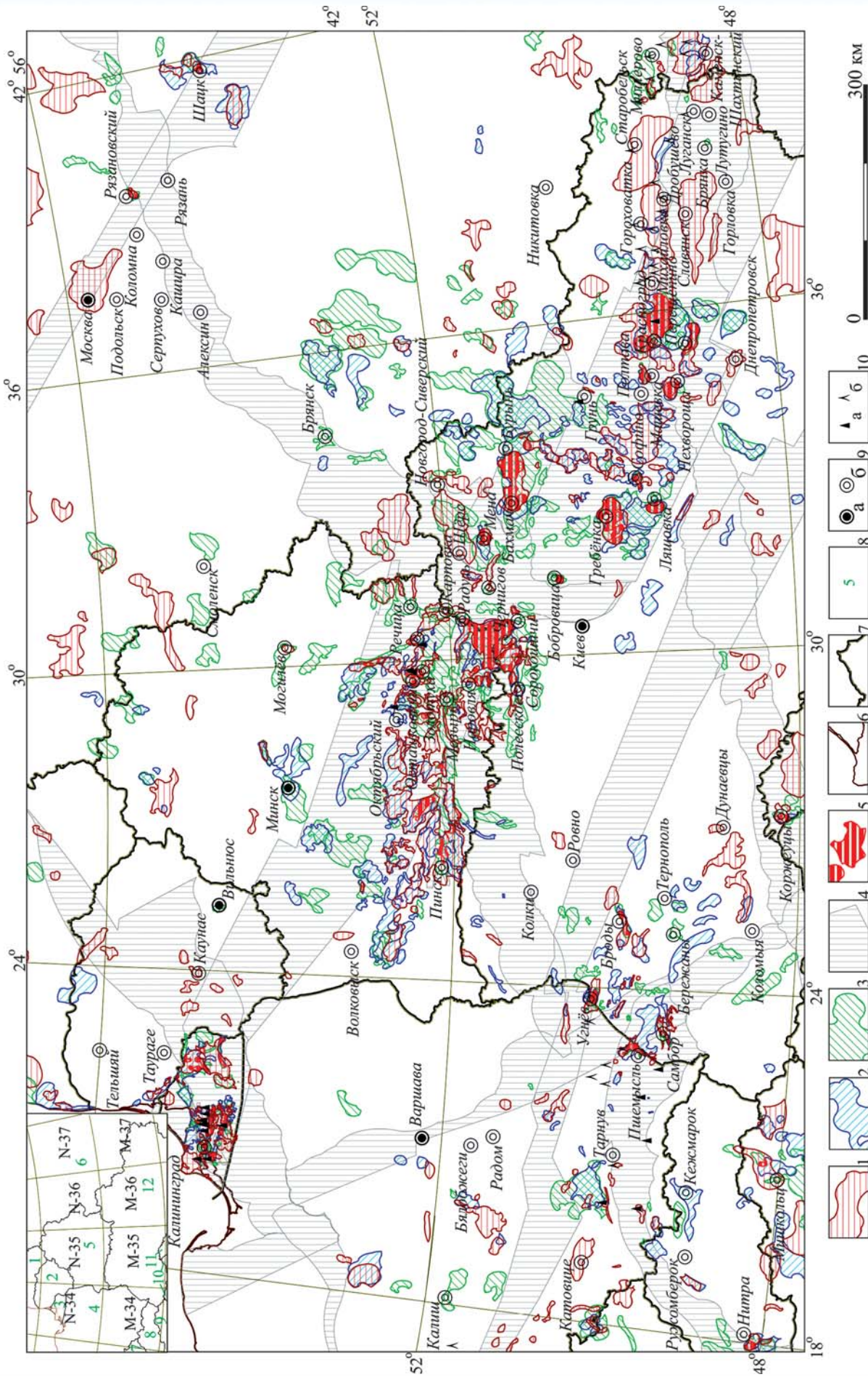


Рис. 3. Местоположение перспективных участков нефтегазоносных залежей в Восточной Европе: 1–3 — площади аномальных значений (по данным спутника Landsat ETM+); 1 — теплого канала; 2 — индекса NDWI; 3 — индекса NDVI; 4 — перспективные площади по комплексу структурных признаков; 5 — наиболее перспективные участки на месте пересечения всех выделенных признаков нефтегазоносности; 6 — береговая линия; 7 — границы государств; 8 — номера на вставке; 9 — Латвия, 10 — Литва, 11 — Калининградская область, 12 — Польша, 5 — Беларусь, 6 — Россия, 7 — Чехия, 8 — Словакия, 9 — Венгрия, 10 — Румыния, 11 — Молдавия, 12 — Украина; 9 — города; а — столицы государств; б — населенные пункты; 10 — месторождения; а — нефти, б — газа

Две небольшие перспективные площади выделены в пределах Пачелмской зоны разломов. Первая площадь выделена на пересечении Пачелмской зоны разломов с фронтом Днепровско-Окской надвиговой зоны возле г. Рязань. Ее площадь 70 км² (рис. 1, 3). Вторая перспективная площадь находится восточнее г. Шацк (Россия), ее площадь 46 км² (рис. 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности юго-восточного побережья и островов Хатангского залива по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин, Т.А. Арестова // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 2. — С. 24–31.
2. Антипов, В.С. Нефтеперспективность центральной части Калининградской области по данным анализа многоспектральных космических снимков / В.С. Антипов, Е.А. Журавлев, Г.В. Гальперов, К.А. Волин // Геология нефти и газа. — 2011. — № 4. — С. 26–36.

3. Махнач, А.С. Геология Беларуси / А.С. Махнач, Р.Г. Гарецкий, А.В. Матвеев и др. — Минск.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. — 815 с.
4. Международная тектоническая карта Европы. Масштаб 1:5 000 000. Третье издание / Гл. редакторы: В.Е. Хаин, Ю.Г. Леонов. ЮНЕСКО, Российский фонд фундаментальных исследований, РАН. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
5. Хаин, В.Е. Региональная геотектоника (тектоника континентов и океанов) / В.Е. Хаин, А.Ф. Лимонов: Учеб. пособие. — Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2004. — С. 78–88.
6. Gao, B. NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space / B. Gao — Remote Sensing of Environment. — 1996. — 58(3). — P. 257–266.
7. Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemond, & J. Gregoire // Remote Sensing of Environment. — 2001. — 77. — P. 22–33.

© Абушкевич С.А., Волин К.А. 2018

Абушкевич Сергей Антонович // niicosm_as@mail.ru
Волин Кирилл Артемович // k.volyn@spbu.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 504.4.054.001.5:622.341

Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В.
(Национальный исследовательский Томский
политехнический университет)

ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО УЗЛА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Предложена методика оценки допустимых концентраций в сточных водах, потенциально образующихся при добыче осадочной железной руды и поступающих в реки, в зависимости от верхней границы доверительного интервала для средних арифметических концентраций веществ в подземных водах, дренируемых приемниками стоков. Дополнительное уточнение допустимых концентраций проводится путем анализа концентраций веществ в поверхностных водах и донных отложениях. Выполнена апробация методики на примере опытного участка геологоразведочных работ в пределах Бакчарского железорудного узла у с. Бакчар (Томская область).
Ключевые слова: Бакчарский железорудный узел, изменения состояния водного объекта, допустимое воздействие.*

Domarenko V.A., Savichev O.G., Peregudina E.V. (National research Tomsk Polytechnic University)

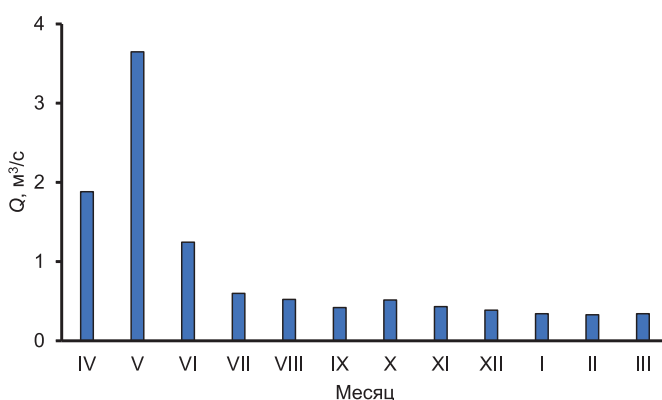
PROBABLE CHANGES OF THE CONDITION OF WATER OBJECTS BY DEVELOPMENT OF THE BAKCHAR ORE UNIT (TOMSK REGION)

A method is proposed for estimating the permissible concentrations in wastewater potentially generated during the extraction of sedimentary iron ore and entering the rivers, depending on the upper limit of the confidence interval for the arithmetic mean concentrations of substances in groundwater drained by the sewage receivers. Additional specification of acceptable

*concentrations is carried out by analyzing the concentrations of substances in surface waters and bottom sediments. Approximation of the technique was carried out on the example of the experimental site of geological prospecting within the Bakchar iron ore cluster near the village of Bakchar (Tomsk Oblast).
Keywords: Bakcharsky iron ore junction, changes in the state of the water body, admissible impact.*

Прогнозные ресурсы P_2+P_1 осадочных железных руд Бакчарского рудного узла оцениваются в авторском варианте в 49 млрд т, или 9,1 млрд Fe при $C_{cp} = 33\%$. Их освоение в долгосрочной перспективе потребует решения целого ряда вопросов, включая исследование изменений окружающей среды [2, 9]. Ранее авторами [6] была проведена оценка допустимых концентраций веществ в сточных водах $C_{w,lim}$, сбрасываемых в подземные и поверхностные водные объекты, на основе сравнения двух выборок объемом N в условно фоновом C_b и нарушенном C_x состояниях в виде трансформированного критерия Стьюдента:

$$C_{w,lim} \leq C_b \cdot (1 + k_{\alpha,2,N-2} \cdot \delta \cdot \sqrt{2}), \quad (1)$$



Внутригодовое распределение водного стока р. Галка у с. Бакчар в расчетный год с обеспеченностью 95 %