

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.24+502.76:553

© 1997 г. Л.Б. АРИСТАРХОВА

**АКТИВНЫЕ РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
УЯЗВИМОСТЬ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Необходимым условием экологически безопасного использования человеком любого участка земной поверхности является доскональное знание современного состояния и динамики развития природной среды. Среди компонентов последней важную роль играют рельефо- и ландшафтообразующие процессы, связанные с активизацией тектонических напряжений в зонах разрывных нарушений, глубоко проникающих в толщу Земли. При усилении тектонической активности разрывов, которая возникает по естественным причинам, а также может провоцироваться антропогенным воздействием, образуются микро- и макродеформации, раскрываются трещины, усиливается перенос из глубин к поверхности энергии, тепла, флюидов разных видов, активизируются многие деструктивные экзогенные процессы (эрозионные, обвально-осыпные, просадочные и др.). Причем ширина зон влияния активизированных разрывов бывает значительной – до 75 км [1]. Все это сказывается на геологической ситуации, а в нефтегазоносных регионах в процессе освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений часто служит причиной аварий на скважинах, разрывов трубопроводов, выбросов газов, разливов агрессивных растворов, нефти и т.п. Профилактике подобных негативных явлений могут помочь специальные эколого-геоморфологические карты, фиксирующие потенциальную степень воздействия активизированных разрывных нарушений на экологическое состояние окружающей территории. В настоящей публикации показан опыт построения обзорных мелкомасштабных (1:4000000 и 1:8000000) карт такого типа для нефтегазоносных провинций (НГП) России, фрагмент одной из этих карт в несколько упрощенном варианте приведен на рис. 1. Работа по составлению этих карт выполнена на Географическом факультете МГУ в рамках исследований по программе "Экологическая безопасность России", проводившихся под руководством профессора Р.С. Чалова.

Экологическое воздействие активных разрывных нарушений на природную среду обусловлено тремя факторами: интенсивностью их последней тектонической активизации в четвертичное время; глубиной проникновения активизированных разрывов в толщу земной коры и их вероятной раскрытости как миграционных каналов; степенью пораженности исследуемой территории активными глубоко проникающими разрывами. Чтобы оценить значимость каждого из факторов и дать картографическое отображение итогового результата, потребовалось: а) закартографировать все уверенно выделенные разрывные нарушения и зоны трещиноватости, активизированные в новейшее время; б) по единой методике классифицировать все эти разрывы по относительной интенсивности (силе) их последней тектонической активизации; в) ран-

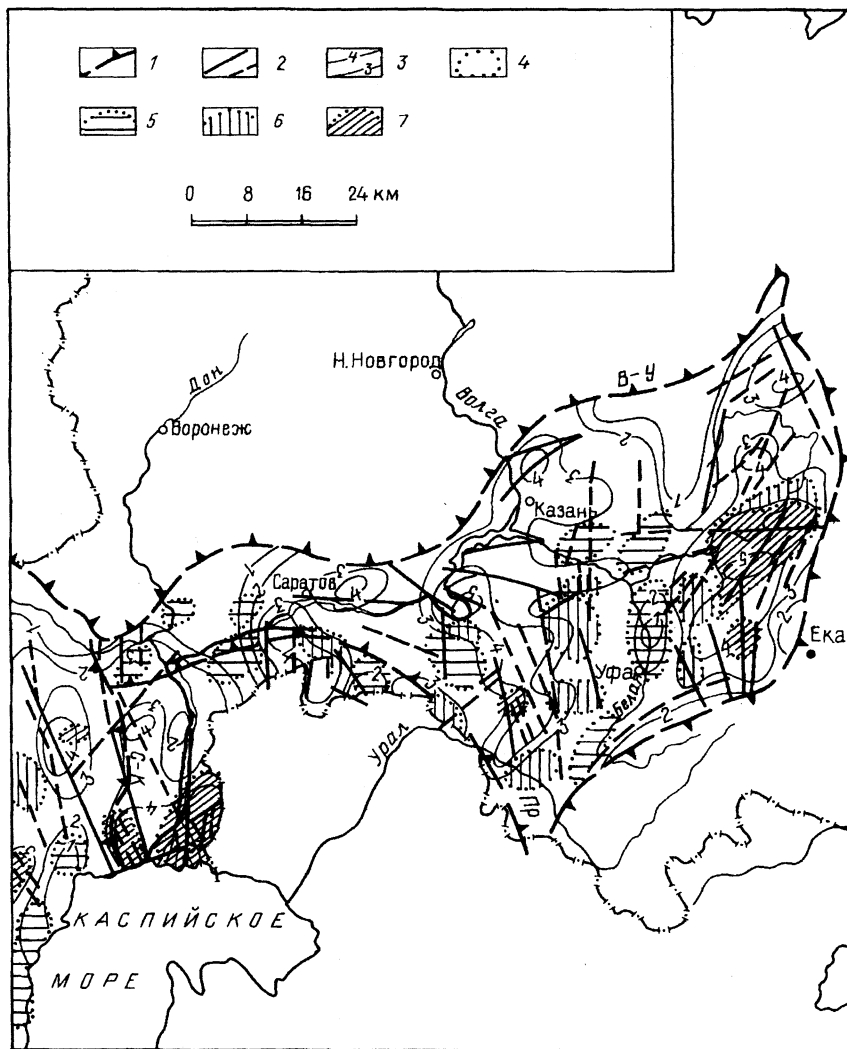


Рис. 1. Фрагмент карты масштаба 1:8000000 экологического состояния нефтегазоносных провинций России и уязвимости к антропогенным воздействиям районов освоения и разведки нефтегазовых месторождений, осложненных активными разрывными нарушениями: 1 – контуры и индексы нефтегазоносных провинций России (Т-П – Тимано-Печорской, В-У – Волго-Уральской, Пр – Прикаспийской, С-К – Северо-Кавказской, З-С – Западно-Сибирской, Е-А – Енисейско-Анабарской, Л-Т – Лено-Тунгусской), 2 – проявленные в рельефе активные разрывные нарушения и зоны трещиноватости высокой и средней интенсивности четвертичной активизации и потенциальной глубинной проницаемости (разрывы слабой активизации и проницаемости на рисунке не показаны): а) высокой активности и проницаемости – $K^u = 3$; б) средней активности и проницаемости – $K^u = 2$, 3 – изолинии баллов экологической напряженности, 4 – ареалы скоплений нефтегазовых месторождений, 5 – ареалы разреженных скоплений единичных, чаще небольших, месторождений в районах слабой экологической напряженности; экологическая уязвимость малая, 6 – ареалы довольно плотных скоплений множества месторождений разных размеров в районах преимущественно средней экологической напряженности; экологическая уязвимость средняя, 7 – ареалы плотных скоплений месторождений разных, в том числе особенно крупных размеров в районах значительной и весьма значительной экологической напряженности; экологическая уязвимость высокая

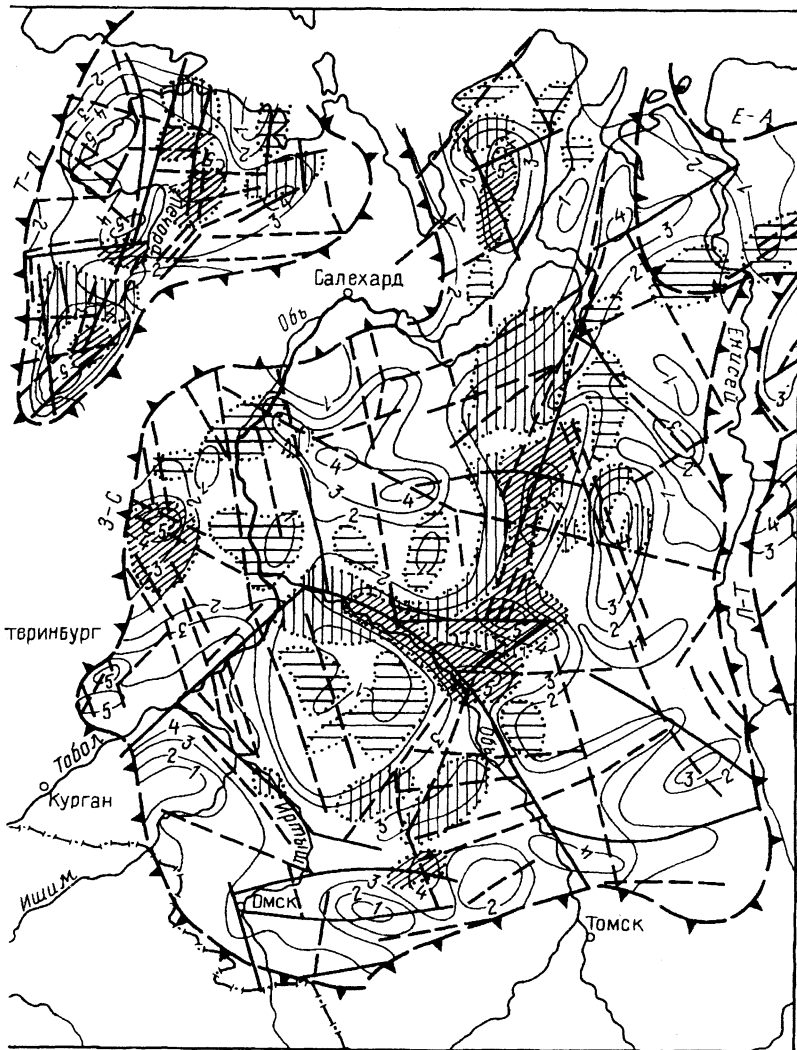


Рис. 1

жировать разрывные нарушения разной степени тектонической активизации по глубине их проникновения в толщу Земли и вероятной проницаемости для глубинного энергомассопереноса; г) определить степень пораженности территории активными разрывами разной интенсивности и глубинной проницаемости.

Фактический материал о распространении активных разрывных нарушений и зон трещиноватости получен в основном с "Карты активных разломов Евразии" масштаба 1:2500000 [2]. На этой карте, составленной в Лаборатории неотектоники и космических исследований ГИН РАН по материалам многолетних структурно-геоморфологических и неотектонических работ большого коллектива (в числе которого и автор настоящей статьи), зафиксировано распространение, возраст последней тектонической активизации в четвертичное время, тип и достоверность выявления активных разломов на территории России и сопредельных стран СНГ.

Опираясь на данные этой карты, анализ космоснимков и мелкомасштабных (1:1000000 и мельче) топографических и гипсометрических карт нами была проведена качественная классификация активных разрывных нарушений и зон трещиноватости;

Геоморфологические критерии интенсивности активизации разрывных нарушений и зон трещиноватости в четвертичное время

Характерные геоморфологические (морфоструктурные) показатели	Интенсивность тектонической активизации, баллы
<p>Яркое морфологическое выражение на местности, аэро- и космоснимках, топографических и гипсометрических картах на всем протяжении разрывного нарушения (обычно более 150–200 км), выраженное комплексом признаков: отчетливыми уступами и резкими перегибами поверхности, цепочками грядовых и останцовых возвышенностей, прямолинейной ориентировкой долин водотоков и серий их крутых изгибов, цепочками отрицательных форм (озер, солончаков, болот и т.п.), серией "аномальных" проявлений деструктивных геоморфологических процессов</p>	<p align="center">Высокая 3</p>
<p>Морфологическое выражение на местности, аэро- и космоснимках, топографических и гипсометрических картах существенно менее яркое, чем при высокой интенсивности активизации, и не столь полное. Часто прослеживается вдоль разрывного нарушения не повсеместно</p>	<p align="center">Средняя 2</p>
<p>Морфологическое выражение на местности, аэро- и космоснимках, топографических и гипсометрических картах слабое, как правило, лишь по одному-двум признакам (чаще всего это прямолинейное простирание водотоков) и обычно короткими фрагментами</p>	<p align="center">Слабая 1</p>

Таблица 2

Связь активных разрывных нарушений и зон трещиноватости с древними разрывными нарушениями глубокого заложения, намеченными по геолого-геофизическим данным

Характерные признаки	Тип связи активных разрывных нарушений с древними разломами глубокого заложения, баллы
<p>Простирание и местоположение активных разрывных нарушений и древних разломов глубокого заложения практически полностью совпадают по всему простиранию активного разрывного нарушения</p>	<p>Связь достоверна. Активные разрывные нарушения явно наследуют древние разломы глубокого заложения, (3)</p>
<p>Простирание активных разрывных нарушений и древних разломов практически совпадает, однако местоположения активного и древнего разрыва местами несколько (до 0,5 см в м-бе карты) расходятся</p>	<p>Связь тесная. Активные разрывные нарушения скорее всего наследуют древние разломы глубокого заложения, (2)</p>
<p>Простирание активных и древних разрывных нарушений однотипно, но их местоположения заметно расходятся (0,6–0,8 см в м-бе карты)</p>	<p>Связь предполагается. Активные разрывные нарушения проявились на земной поверхности со смещением относительно древних разломов, (1)</p>
<p>Простирание и местоположение активных разрывных нарушений и древних разломов существенно не совпадают</p>	<p>Связи нет, (0)</p>

осложняющих НГП России, по степени относительной интенсивности их последней (преимущественно позднеплейстоценовой) тектонической активизации. Главным критерием степени интенсивности тектонической активизации служила яркость проявления характерных геоморфологических (морфоструктурных) признаков разрывов [3]. Как видно из табл. 1, по этим показателям выделено три класса относительной интенсивности последней новейшей активизации разрывных нарушений, оцененной в баллах: высокая – 3 балла, средняя – 2, слабая – 1. Нередко новейшая тектоническая активность разрывного нарушения неодинакова на разных его участках.

Прямые данные о глубине проникновения в толщу Земли и проницаемости активных разрывных нарушений для глубинного энергомассопереноса в большинстве случаев отсутствуют. Поэтому судить об этом пришлось по косвенным признакам: интенсивности последней тектонической активизации разрыва, во-первых, и типу связи активных разрывных нарушений с древними разломами глубокого заложения, во-вторых.

О критериях относительной интенсивности последней тектонической активизации разрывов сказано выше. Определение же типа связи активных разрывов с древними разломами осуществлялось путем сопоставительного картографического анализа местоположения активных разрывов разной интенсивности и древних разломов глубокого заложения, независимо выделенных по геолого-геофизическим показателям.

Источником сведений о древних разломах служили геолого-тектонические карты 1:2500000 масштаба. В основном были использованы две карты: "Карта разломов территории СССР и сопредельных стран" [4], на которой зафиксированы наблюдаемые и предполагаемые по геолого-геофизическим данным древние разломы трех порядков величин разного времени заложения, выходящие и не выходящие на земную поверхность, и "Карта нефтегазогеологического районирования СССР" [5], на которой кроме границ нефтегазоносных провинций и местоположения нефтегазовых месторождений показаны наиболее значимые установленные и предполагаемые разломы глубокого заложения.

Как показано в табл. 2, сопоставительный анализ этих карт, фиксирующих древние разломы, с упомянутой выше [2] одномасштабной картой активных разломов, выявил четыре основных типа их связи, оцененные в баллах: связь достоверная – 3; связь тесная – 2; связь предполагаемая – 1; связи нет – 0.

Так как проницаемость разрывного нарушения для глубинного энергомассопереноса прямо зависит и от тесноты его связи с древними разломами глубокого заложения и от интенсивности его последней тектонической активизации, показателем предполагаемой проницаемости каждого активного разрыва принята сумма (Σ) оценочных баллов интенсивности его четвертичной активизации (по табл. 1) и тесноты связи с древними разломами глубокого заложения (табл. 2). Чем сумма оценочных баллов этих двух показателей для каждого из активных разрывов больше, тем выше ранг его потенциальной проницаемости и вероятной силы экологического воздействия. Наибольшей потенциальной глубинной проницаемостью обладают протяженные разрывные нарушения и зоны трещиноватости высокой интенсивности четвертичной активизации, связанные с древними разломами глубокого заложения. Сумма (Σ) оценочных баллов по табл. 1 и 2 для этих разрывных нарушений не меньше 6. Им присвоен высший бал проницаемости, равный 3. Более низкий балл проницаемости – 2 присвоен активным разрывным нарушениям высокой и средней интенсивности, явная наследуемая связь которых с древними разломами не установлена, но предполагается. Сумма оценочных баллов в этих случаях равна 4 или 5. Наименьшая глубинная проницаемость (балл 1) свойственна активным разрывным нарушениям средней и, чаще, слабой интенсивности, связь которых с древними разломами глубокого заложения не установлена и маловероятна (Σ не более 3).

Иллюстрацией сказанного может служить карта экологического состояния района Астраханского газоконденсатного месторождения (рис. 2), на которой отчетливо видна явная приуроченность участков наибольшей глубинной дегазации пород геологического



Рис. 2. Карта масштаба 1:500000 экологического состояния района Астраханского газоконденсатного месторождения, связанного с дегазацией пород в зонах новейшей тектонической активизации трещиноватости и разрывных нарушений 1 – контур Астраханского газоконденсатного месторождения, 2 – проявленные в современном рельефе и на космо- и аэроснимках разрывные нарушения и зоны трещиноватости разной интенсивности тектонической активизации в четвертичное время: а – наиболее активные, б – средней активности, в – слабой активности, 3 – граница участков разуплотненных пород геологического разреза, 4 – степень дегазации пород геологического разреза по данным газовой съемки 1977–80 гг., проинтерпретированной А.А. Акимовой и др. [6]: а – весьма активная дегазация, б – дегазация средней активности, в – слабая дегазация, 5 – баллы экологической напряженности

разреза к ярко выраженным в рельефе протяженным разрывным нарушениям высокой интенсивности последней тектонической активизации и связанными с этими разрывами зонами повышенной экологической напряженности.

Таким образом, на экспертном уровне были получены данные о распространении в пределах НГП России активных разрывных нарушений и зон трещиноватости трех рангов потенциальной глубинной проницаемости и экологического воздействия при освоении месторождений, оцененные в баллах.

При последующем районировании территорий НГП по степени их пораженности активными разрывами значения этих баллов (высший – 3, средний – 2, низший – 0) условно приняты за коэффициент глубинной проницаемости – K^n .

Данные о распределении активных разрывных нарушений с разными коэффициентами глубинной проницаемости позволили суммарно оценить степень пораженности (П) территории потенциально проницаемыми разрывами и на этой основе охарактеризовать общее экологическое состояние НГП, обусловленное воздействием активной разломной тектоники, а также определить степень экологической уязвимости районов месторождений к антропогенным нагрузкам.

Определение пораженности НГП проницаемыми активными разрывами выполнено путем подсчета в пределах установленной единицы площади (1 см^2 карты) суммы произведений длин каждого из разрывных нарушений (l_i) на коэффициент его глу-

бинной проницаемости (K_i^n) по формуле:
$$П = \sum_i^n (l_i \cdot K_i^n)$$

Опираясь на полученные таким образом цифровые значения пораженности (П) активными разломами для сравнительной оценки влияния этих разрывов на общее экологическое состояние природной среды были определены баллы так называемой экологической напряженности и нанесены на карты соответствующие изолинии.

Как показали расчеты по картам масштаба 1:4000000 и 1:8000000, цифровые значения П в пределах НГП России делятся на пять групп, каждой из которых присвоен определенный балл экологической напряженности. Чем выше цифровое значение П, тем больше пораженность территории глубоко проникающими разрывами, сильнее связанная с этими разрывами экологическая напряженность и меньше экологическая устойчивость (а, значит, сильнее уязвимость) районов освоения нефтегазовых месторождений к антропогенным воздействиям. Самый низкий балл экологической напряженности, равный 1, соответствует пораженности активными разрывами на единицу площади для карты м-ба 1:4000000 – менее 40 км, а для карты м-ба 1:8000000 – менее 80 км. Самый высокий – 5 – более 280 км в первом случае и более 560 км – во втором.

Анализ составленных в итоге карт, отображающих влияние активных разрывных нарушений на экологическое состояние районов освоения нефтегазовых месторождений, показал, что в пределах всех нефтегазоносных провинций России наибольшие площади занимают территории, экологическая напряженность которых оценена баллом 2. По-видимому, это значение экологической напряженности следует считать фоновым, характерным для любых территорий, осложненных активными разрывными нарушениями. Участки со значением напряженности менее 2 баллов приурочены в основном к областям НГП, где мало или совсем нет известных нефтегазовых месторождений. Не исключено, что низкая пораженность активными разрывами таких участков связана с их недостаточной геолого-геоморфологической изученностью в части разломной тектоники.

Особый интерес представляют районы с высокими (4 и 5) баллами экологической напряженности. Представлены они, как правило, относительно небольшими по площади разобщенными участками, закономерно приуроченными к наиболее ярко выраженным в рельефе самым активизированным разрывным нарушениям и зонам трещиноватости, наследующим древние разломы глубокого заложения и оцененные высокими коэффициентами глубинной проницаемости. Именно к этим районам вместе с их ближайшей периферией в пределах зон с экологической напряженностью 3 балла,

как правило, приурочены самые крупные по площади нефтегазоносные месторождения (типа Астраханского газоконденсатного) и наиболее плотные скопления – ареалы небольших месторождений. Это лишний раз подтверждает генетическую связь нефтегазовых месторождений с долгоживущими активными разломами.

Месторождения нефти и газа, особенно небольшие по площади, редко бывают единичны. Чаще они располагаются группами – ареалами разных размеров. Сопоставление местоположения отдельных месторождений и их ареалов с зонами разной экологической напряженности (рис. 1) позволяет выделить по степени устойчивости к антропогенным воздействиям три типа скоплений месторождений.

Наиболее устойчивыми и, следовательно, экологически наименее уязвимыми при освоении месторождений, являются ареалы, характеризующиеся присутствием немногих единичных, преимущественно небольших, месторождений в областях низкой (не выше 2 баллов) экологической напряженности. К среднеустойчивым отнесены ареалы, отличающиеся плотной концентрацией множества месторождений разных размеров и расположенные на территории в основном со средними значениями экологической напряженности (балл 3, иногда 4), а также небольшие ареалы, включающие одно–три месторождения, приуроченные непосредственно к активным разрывным нарушениям с высоким коэффициентом глубинной проницаемости. Ареалы слабой экологической устойчивости и наиболее уязвимые в процессе освоения месторождений располагаются в зонах высокой (баллы 4 и 5) экологической напряженности.

Выделенные скопления – ареалы нефтегазовых месторождений разной экологической устойчивости и уязвимости в пределах НГП распространены неравномерно. Явно преобладают (50%) ареалы средней устойчивости и уязвимости. На втором месте (39%) ареалы высокой устойчивости и слабой уязвимости. Лишь 11% составляют группы месторождений слабой устойчивости и высокой уязвимости. Однако именно с этими ареалами связаны наибольшие по площади и, чаще всего, самые крупные по запасам месторождения нефти и газа. Выпадают из этого правила только два крупных месторождения – Ромашкинское в Волго-Уральской НГП и Красноленская группа месторождений в Западно-Сибирской НГП, расположенные в основном в зонах экологической напряженности от 2 до 3 баллов.

Очевидно, что природная среда ареалов месторождений, находящихся в зонах высокой экологической напряженности, связанной с воздействием активных разрывных нарушений, наименее устойчива и особенно уязвима. В таких районах любому виду деятельности, связанному с необходимостью освоения месторождения, должно предшествовать тщательное, включая морфоструктурное, изучение разломной тектоники и динамики новейших тектонических напряжений. Как свидетельствует опыт [7], своевременный учет данных таких исследований помогает избежать нежелательных последствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 206 с.
2. Трифонов В.Г. (ред.). Карта активных разломов Евразии м-ба 1:2500000. Фонды лаборатории неотектоники и космических исследований. ГИН РАН, 1995.
3. Аристархова Л.Б. Роль геоморфологического критерия при выявлении разломов глубокого заложения в "закрытых" платформенных регионах // Геоморфология. 1981. № 1. С. 41–50.
4. Сидоренко А.А. (ред.). Карта разломов территории СССР и сопредельных стран м-ба 1:2500000. М.: Изд-во МИНГЕО СССР, 1978.
5. Габриэлянц Г.А. (ред.). Карта нефтегазогеологического районирования СССР м-ба 1:2500000. М.: Изд-во МИНГЕО СССР, 1990.
6. Акимова А.А., Волгин А.И., Чурсина М.Е. и др. Геодинамический фактор при моделировании санитарно-защитной зоны атмосферы (на примере Астраханского газоконденсатного комплекса) // Экология России. Программы и тезисы докладов. Часть IV, секция 1. М.: Изд-во Национального форума Экологии России, 1994. 115 с.

ACTIVE FAULTS AND ECOLOGICAL VULNERABILITY OF OIL AND GAS AREAS

L.B. ARISTARKHOVA

S u m m a r y

The method of compiling special ecology-geomorphological maps is presented. It allows to evaluate the possible influence of the neotectonic activation of faults and splits upon environmental conditions and vulnerability of lands where oil- and gas-fields are exploiting. The map compiled for Russia had confirmed the connection of great number of large oil- and gas-fields with long-lived active faults.

УДК 551.(084.3): 435.162 : 631.6

© 1997 г. М.В. ВЕРЕТЕННИКОВА, Е.Ф. ЗОРИНА, Б.П. ЛЮБИМОВ,
И.И. НИКОЛЬСКАЯ, С.Д. ПРОХОРОВА

КАРТЫ СОВРЕМЕННОГО И ПРОГНОЗНОГО ПОРАЖЕНИЯ ОВРАГАМИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ФОНДА¹

Оврагообразование является одним из интенсивных современных процессов, связанных с антропогенными изменениями природных ландшафтов. С нарушением дерново-почвенного покрова при распашке обширных территорий России связано появление около 75% всех оврагов. Развитие оврага на склоновом водосборе нарушает стандартные приемы обработки полей, что приводит к выведению из сельскохозяйственного оборота больших площадей пашни. Площади оврагов ежегодно увеличиваются, причем нередко это происходит в результате появления новых оврагов, особенно в областях интенсивного хозяйственного освоения территорий. В соответствии с данными А.Н. Каштанова [1], общее количество оврагов превышает 13 млн, их площадь составляет около 7 млн. га, а ежегодные потери площади пашни за счет развивающихся оврагов достигают 150 тыс. га.

Для оценки ущерба от развития оврагов на пахотных землях наиболее удобным параметром является их площадь по контуру бровки. Выраженный в размерностях площади, этот показатель отражает непосредственные потери земельных ресурсов. Площадь оврагов может быть выражена в км², га, или как доля овражных земель в общей площади территории (пашни, хозяйства, области и т.д.).

В Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов Географического факультета МГУ впервые проведен расчет площадей овражных земель (современных и прогнозных) для распаханых территорий России и составлены карты площадей оврагов.

Определение площади, пораженной современными оврагами, выполнялось с привлечением данных о глубине и ширине оврагов разных типов в широком диапазоне природных условий. Эти данные получены по материалам обработки крупномасш-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 97-05-64046).