

РЕГИОНАЛЬНЫЕ
ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 551.24

УЗЛЫ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ РАЗЛОМОВ
И ЗОНЫ АККУМУЛЯЦИИ ПОТОКОВ:
АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ

© 2001 г. И. В. Флоринский

Российское экологическое федеральное информационное агентство

Поступила в редакцию 17.09.96 г.

На примере Крымского полуострова на количественном уровне с использованием цифровых моделей рельефа изучены некоторые соотношения между узлами пересечения разломов и зонами аккумуляции потоков. Проведен анализ распределения по элементам рельефа – эпицентров землетрясений, зон коренного рудопроявления, участков интенсивной трещиноватости горных пород и др. аккумуляции, транзита и рассеяния потоков в ряде природных объектов, которые априори могут располагаться в узловых структурах. Рассмотрены процессы миграции и аккумуляции фильтрационных вод из Северо-Крымского канала и его влияние как геохимического барьера. Аргументирована перспективность использования карт зон аккумуляции при решении ряда актуальных задач охраны окружающей среды.

Введение. Известно, что рельеф во многом контролирует *массоперенос* – миграцию и аккумуляцию воды, минеральных и органических веществ на земной поверхности и в приповерхностном слое под действием гравитации. В то же время рельеф, в значительной мере, зависит от геологического строения территории. В частности, долинно-балочная сеть, определяющая основные пути миграции поверхностных потоков, в той или иной степени связана с разломами земной коры, которые могут служить каналами для восходящей миграции глубинных потоков вещества. Анализ подобных зависимостей необходим при изучении геологического строения и лучшего понимания соотношений между эндогенными и экзогенными процессами.

Массоперенос на земной поверхности и в приповерхностном слое под действием гравитации осуществляется путем дивергенции/конвергенции потоков и их относительного ускорения/замедления. Дивергенцию и конвергенцию потоков контролирует горизонтальная кривизна (k_h), а относительное ускорение и замедление потоков – вертикальная кривизна (k_v) поверхности: значения $k_h > 0$ определяют области дивергенции, $k_h < 0$ – конвергенции, $k_v > 0$ – относительного ускорения, $k_v < 0$ – замедления [58, 52]. Конвергенция и относительное замедление потоков обуславливают аккумуляцию веществ. При этом интенсивность и направленность массопереноса во многом зависят от пространственного распределения: а) участков земной поверхности, где одновременно происходит конвергенция и относительное замедление потоков (назовем их *зонами аккумуляции*); б) участков дивергенции и относительного уско-

рения потоков (назовем их *зонами рассеяния*) и в) участков, где отсутствует одновременное действие “однонаправленных” процессов (назовем их *зонами транзита*). Количественно зоны аккумуляции определяются значениями $k_h < 0$ при $k_v < 0$ [66], а зоны рассеяния – значениями $k_h > 0$ при $k_v > 0$; в пределах зон транзита k_h и k_v имеют разные знаки и равны нулю. По качественной классификации элементов рельефа [16] зоны аккумуляции могут быть определены как вогнуто-вогнутые, а зоны рассеяния – как выпукло-выпуклые участки поверхности: остальные типы элементов рельефа будут отнесены к зонам транзита.

Роль зон аккумуляции в формировании свойств почвенного покрова обсуждалась на качественном уровне неоднократно. Так, в аридных и семиаридных регионах на уровне макро- и мезорельефа в этих зонах часто происходит соленакопление, вторичное засоление почв и повышенная минерализация грунтовых вод; на уровне микро-рельефа соленакопление, как правило, наблюдается в зонах рассеяния [21]. Аргументирована необходимость изъятия из сельскохозяйственного оборота зон аккумуляции как естественных накопителей солей и поллютантов [36]. На количественном уровне показано, что наиболее увлажненные участки почвенного покрова совпадают с зонами аккумуляции [62]. Из-за повышенного содержания влаги в почвах и грунтах в этих зонах развиты оползневые явления [60]. В гумидных условиях в зонах аккумуляции распространено оглеение почв, развитие элювиального горизонта, максимальные значения мощности горизонта А и глубины вскипания карбонатов кальция [63], а также повышенное загрязнение ^{137}Cs [11]. При

атмосферном переносе поллютанты, как правило, оседают в крупных зонах аккумуляции и небольших зонах рассеяния [39].

Выявление зон аккумуляции, транзита и рассеяния и оценку топографических предпосылок [37] интенсивности этих процессов удобно проводить на основе расчета аккумуляционной (K_a) и средней (H) кривизн земной поверхности по цифровым моделям высот (ЦМВ). K_a – произведение k_h и k_v – является мерой потенциальной степени аккумуляции потоков. Зонам транзита соответствуют значения $K_a < 0$, а зонам аккумуляции и рассеяния – $K_a > 0$. Критерием от деления зон аккумуляции от зон рассеяния служит знак H (полусумма k_h и k_v): $K_a > 0$ при $H > 0$ определяют зоны рассеяния, а при $H < 0$ – зоны аккумуляции [66].

Важными объектами геологической среды являются узлы пересечения разломов – *узловые структуры* [30]. Для них характерны повышенная рыхлость, трещиноватость и проницаемость горных пород. На качественном уровне установлено, что на узловых структурах часто наблюдаются повышенная сейсмичность [5], аномальное обводнение [27] (вплоть до заболоченности [23]), активизация эрозии, карстовые [22] и оползневые [17] процессы. Поэтому до 80% аварий на нефтегазопроводах и железных дорогах происходит именно в узловых структурах [9], что необходимо учитывать при проведении строительных работ [30, 9]. К узловым структурам часто приурочены разновозрастные интенсивные проявления магматизма и вулканизма [30]. В зависимости от размера (ранга) узловые структуры могут контролировать рудные районы, рудные поля, месторождения различных рудных полезных ископаемых и рудопроявления [59, 4, 44]; в ряде случаев к узловым структурам приурочены месторождения углеводородов [14]. Геофизические и геохимические аномалии в узловых структурах (интенсивные газовые эманаии, повышенное содержание в почве различных микроэлементов и пр.), как правило, являются мутагенами и оказывают влияние на биоту и организм человека. Так, в узловых структурах число деревьев с признаками дихотомии в 5–15 раз превышает норму [26]. В жилых домах, расположенных над локальными узловыми структурами, количество онкозаболеваний в 4 раза выше фоновых показателей [26]. Крупные города локализованы в основном в узловых структурах регионального масштаба, а интенсивность развития населенного пункта зависит от характерного размера структуры [34].

Приведенные данные отнюдь не означают, что к каждой узловой структуре приурочены все указанные природные объекты и явления. Их наличие или отсутствие может определяться фоновой геологической обстановкой и другими факторами. В частности, известен своеобразный антагонизм

между эндогенными рудными месторождениями и эпицентрами землетрясений [49].

В 1983 г. при визуальном дешифрировании космических снимков, видимо впервые, было отмечено, что узловым структурам иногда соответствуют пониженные участки местности [23]. В результате *качественного* анализа геологических и дистанционных данных А.П. Полетаев [30] пришел к выводу, что узловые структуры всех уровней иерархии выражены в рельефе, как правило, в виде депрессий. Годом позже на *количественном* уровне было доказано, что зоны аккумуляции, как правило, совпадают с узловыми структурами [46]. Действительно, для выделения выраженных в рельефе линеаментов необходимо рассчитать по ЦМВ k_h и k_v и построить карты этих характеристик [45]. При этом выделяются две группы линейных структур: линеаменты первой группы фиксируются фрагментами областей конвергенции ($k_h < 0$), индицируя в основном сдвиги; линеаменты второй группы регистрируются фрагментами областей относительного замедления ($k_v < 0$), индицируя сбросы и надвиги [56]. Очевидно, что узел пересечения линеаментов из разных групп соответствует зоне аккумуляции. Таким образом, значения $K_a > 0$ при $H < 0$ определяют узловые структуры, $K_a < 0$ (зоны транзита) – участки разломов вне узлов пересечения, а $K_a > 0$ при $H > 0$ (зоны рассеяния) – консолидированные участки земной коры.

Соответствие зон аккумуляции узловым структурам связано, по-видимому, с тем, что в последних аномальная трещиноватость горных пород значительно сильнее проявляется, чем вдоль разломов вне узлов пересечения. Поэтому именно в узловых структурах породы наиболее подвержены выветриванию, просадкам и другим процессам, вызывающим развитие депрессий. Повышенное увлажнение в зонах аккумуляции активизирует эрозию, что в свою очередь усиливает выраженность этих зон в рельефе. Связь зон аккумуляции с узловыми структурами может проявляться на различных уровнях: узлам пересечения трещин в подстилающих породах могут соответствовать зоны аккумуляции на уровне микрорельефа, а узлам пересечения трансрегиональных разломов – зоны аккумуляции регионального масштаба.

Косвенно о связях зон аккумуляции с узловыми структурами может свидетельствовать локализация отрицательных форм рельефа вдоль дизъюнктивов и влияние последних на почвообразование: засоление, ожелезнение, гидроморфизм, аномалии в составе почвенного воздуха [20], повышенное и аномальное увлажнение как зон аккумуляции [62, 63], так и узловых структур [27, 23]; а также развитие оползней как в зонах аккумуляции [60], так и в узловых структурах [17]. Однако подроб-

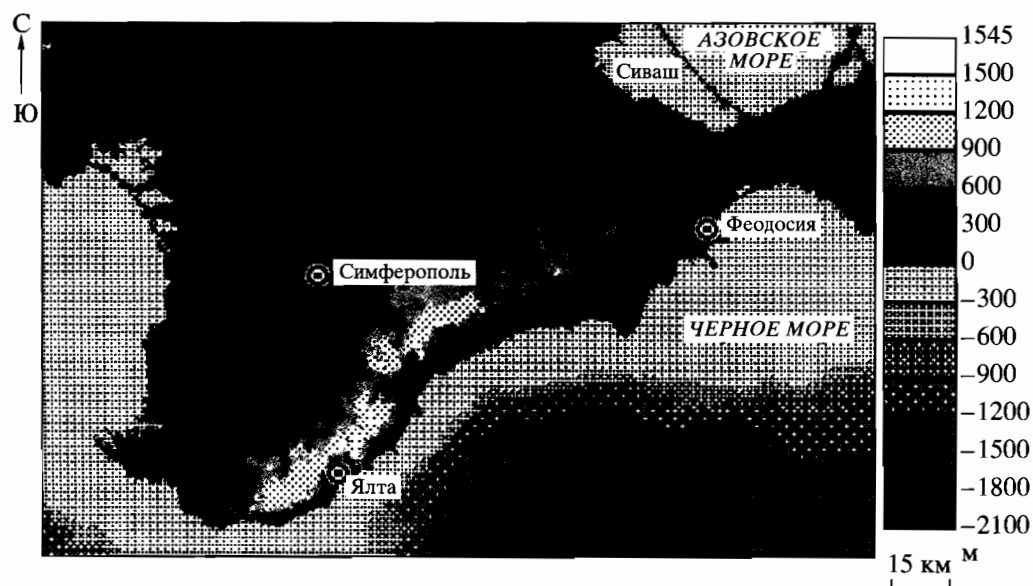


Рис. 1. Карта высот части Крымского полуострова и прилегающего морского дна [45].

ный анализ взаимосвязей узловых структур и зон аккумуляции не проводился.

Нами на количественном уровне с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР) исследованы некоторые соотношения между узловыми структурами и зонами аккумуляции. Проведен анализ распределения по элементам рельефа (зонам аккумуляции, транзита и рассеяния потоков) ряда природных объектов различного генезиса, которые априори могут располагаться в узловых структурах. Изучено влияние зон аккумуляции на распределение участков изменения водно-солевого режима в результате приповерхностного массопереноса при ирригации.

Объект исследования. Для исследования выбрана часть Крымского полуострова и прилегающего морского дна (рис. 1) с разнообразными геоморфологическими и геологическими условиями. Она включает горный Крым, фрагменты равнинного Крыма, шельфа, материкового склона, абиссальной впадины Черного моря и отмели Азовского моря. В тектоническом плане здесь выделяются альпийский Крымский мегантиклинорий, фрагменты эпипалеозойской Скифской плиты и краевых прогибов [6]. В Крыму известно большое число разломов [35, 51, 6, 32, 2 и др.], которые, как правило, выражены в рельефе и выявляются при расчете k_h и k_v [45, 56]. Широко распространены природные объекты различного генезиса, которые априори могут располагаться в узловых структурах (рис. 2).

В равнинном Крыму почвообразующие породы представлены преимущественно лёссовидными суглинками, а почвы – комплексами черноземов южных и карбонатных, каштановых, луго-

вых, солонцов и солончаков [12]. Распространено хлоридно-сульфатное, хлоридное и гидрокарбонатное засоление пород и почв (рис. 3а) [28], которые в целом слабо дренированы (рис. 3б) [28]. Начиная с 1963 г. территория орошается водами Днепра, подаваемыми по Северо-Крымскому каналу (СКК) (рис. 3а) [29]. Вследствие недостаточного бетонирования магистрального русла СКК и размещения его Красногвардейской ветки на закарстованных неогеновых известняках на фильтрацию теряется от 25 до 70% воды [28, 24]. Это вызывает резко выраженное вторичное засоление почв, существенный подъем уровня грунтовых вод и усиление их минерализации [28]. Значительное содержание в днепровской воде сине-зеленых водорослей [25], ионов SO_4^{2-} и Cl^- , соединений азота, пестицидов, тяжелых металлов и радионуклидов [50] ведет к загрязнению почв и подземных вод в зоне орошения.

Реки северного склона Крымских гор в равнинной части полуострова имеют временный поверхностный сток весной и постоянный интенсивный подземный сток слабо минерализованных вод древнеаллювиальных отложений на глубинах 2.5–30 м [12]. Магистральное русло СКК расположено вкрест простираанию долин этих рек. Хотя в местах их пересечения предусмотрены сооружения для миграции естественных потоков [29, 24], по отношению к последним СКК может играть роль своеобразного антропогенного геохимического барьера и вызывать изменения водно-солевого режима.

Исходные данные и методы. В работе использована нерегулярная ЦМВ (11936 точек) части

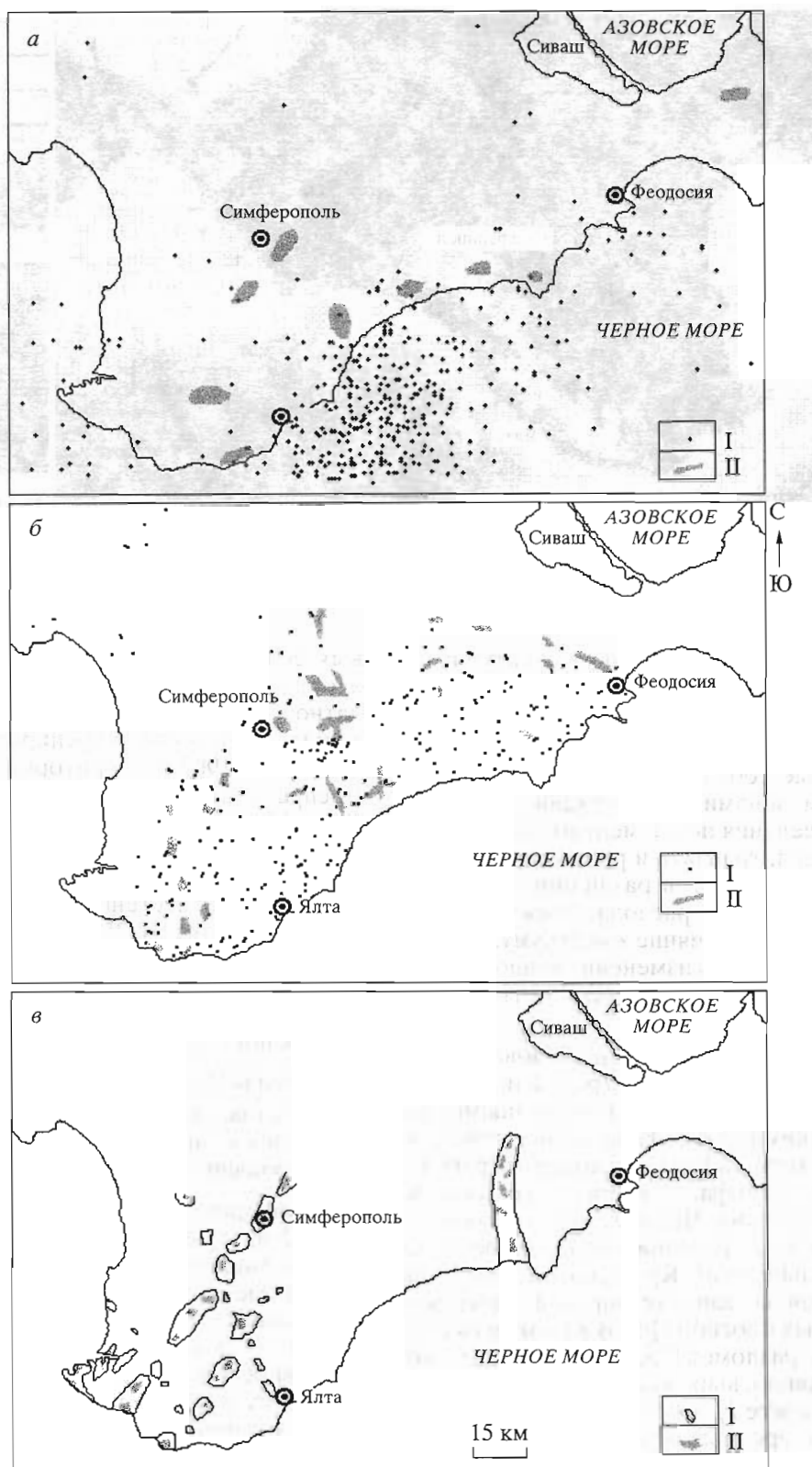


Рис. 2. Карты природных объектов Крымского полуострова и прилегающего морского дна, которые априори могут располагаться в узловых структурах: *а* – эпицентры землетрясений (I) и зоны рудопоявления ртути (II); *б* – источники (I) и сильно обводненные зоны (II); *в* – участки интенсивной (I) и исключительно интенсивной (II) трещиноватости горных пород.

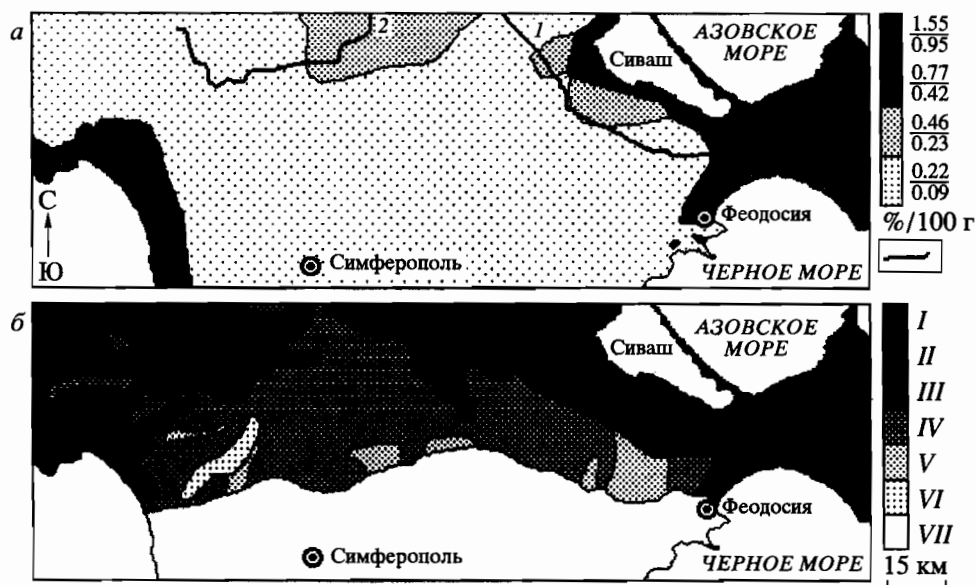


Рис. 3. Карты засоления и дренированности части Крымского полуострова. *а* – степень общего и токсичного засоления пород в зоне аэрации, в числителе – общее содержание водорастворимых солей, в знаменателе – токсичных солей (NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3), I – СКК (1 – магистральное русло, 2 – Красногвардейская ветка); *б* – степень естественной дренированности: I – бессточная территория, II – весьма слабодренированная, III – слабодренированная, IV – среднедренированная, V – хорошо дренированная, VI – очень хорошо дренированная, VII – нет данных.

Крымского полуострова и прилегающего морского дна (см. рис. 1), составленная с помощью цифрования горизонталей топографических карт масштабов 1 : 300000 и 1 : 500000 [40–45]. Регуляризация ЦМВ осуществлена методом взвешенного среднего с шагом 500 м [65]. Методом Эванса [55] по регулярной ЦМВ рассчитаны цифровые модели K_a и H с шагом 1000, 3000 и 8000 м. Для данной территории применение таких значений шага сетки ЦМВ обеспечивает выделение элементов рельефа, связанных преимущественно с тектоническим строением. Кроме того, эти значения соответствуют точности исходных данных по природным объектам. На основе цифровых моделей K_a и H построены карты зон аккумуляции, транзита и рассеяния (рис. 4). Значения K_a и H квантовались на два уровня относительно нуля.

Использована следующая выборка природных объектов:

– 316 эпицентров землетрясений с магнитудами 3–7 за период 1927–1985 гг. (см. рис. 2а), расположенных в узлах пересечения зон трансрегиональных субмеридиональных и субширотных разломов [1, 10, 35, 51, 31, 18, 2];

– 9 зон коренного рудопроявления ртути (рис. 2а) (общая площадь 282.80 км²), локализованных в основном в эффузивно-интрузивных породах на участках с интенсивной трещиноватостью и гидротермальными изменениями [3, 7];

– 265 источников пресных, минеральных, газифицированных и термальных вод различных водоносных горизонтов (см. рис. 2б), дренируемых в зонах повышенной трещиноватости. Источники с аномально высокими дебитами расположены в узлах пересечения зон трансрегиональных субмеридиональных разломов с локальными разрывами северо-восточного и субширотного простирания [40–43, 8, 7, 27];

– 24 сильно обводненные зоны (рис. 2б) (общая площадь 301.10 км²), контролируемые узлами пересечения зон трансрегиональных субмеридиональных разломов с локальными разрывами северо-восточного и субширотного простирания [27];

– 29 участков интенсивной и 25 участков исключительно интенсивной трещинной проницаемости горных пород (см. рис. 2в) (их суммарная площадь 885.90 и 104.20 км² соответственно), в которых происходит разгрузка термальных глубинных вод [54, 22].

Исходные данные о природных объектах имеют различную среднюю плановую точность: 8000 м для эпицентров землетрясений, 1000 м для источников, 3000 м для остальных объектов. Для минимизации влияния этих ошибок на анализ распределения объектов по элементам рельефа при работе с данными по эпицентрам использовалась карта зон аккумуляции, построенная с шагом 8000 м (рис. 4а), по источникам – с шагом 1000 м (см. рис. 4а), по остальным объектам – с шагом 3000 м (см. рис. 4б). Определялось количество эпицентров, источников и суммарные площади других объектов, лежащих в зонах аккумуляции, транзита и рассеяния. Результаты анализа представлены в виде диаграмм (рис. 5).

При анализе влияния зон аккумуляции на распределение участков вероятного изменения водно-солевого режима и загрязнения в результате приповерхностного массопереноса использовались ЦМВ, карта зон аккумуляции, построенная с шагом 3000 м (см. рис. 4б), карта путей миграции потоков, полученная на основе цифровой модели

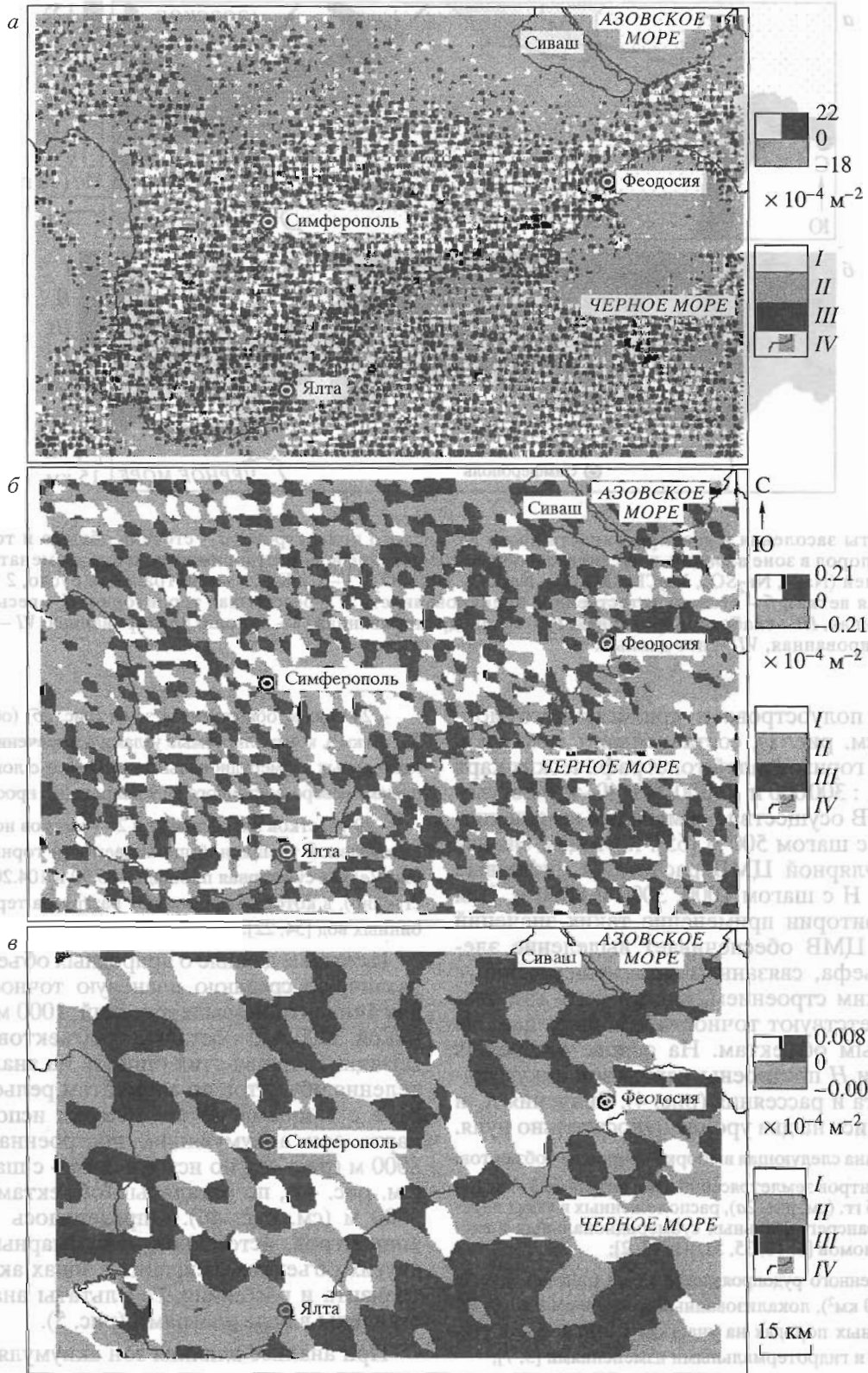


Рис. 4. Карты зон аккумуляции, транзита и рассеяния потоков Крымского полуострова и прилегающего морского дна, построенные с шагом сетки ЦМВ: а – 1000 м, б – 3000 м, в – 8000 м; I – зоны рассеяния, II – транзита, III – аккумуляции, IV – береговая линия.

k_h (рассчитана методом Эванса [55] по ЦМВ с шагом 3000 м), и карта СКК [29]. Рассматривались процессы миграции и аккумуляции фильтрационных вод из магистрального русла и Красногвардейской ветки СКК, а также влияние СКК на латерального геохимического барьера. В результате анализа указанных материалов построена карта зон риска изменения водно-солевого режима и загрязнения (рис. 6а).

Для отображения путей миграции использовалась k_h , так как при ее картографировании наглядно выделяются долинная и водораздельная сеть и структура пространственного распределения потоков [19 и др.]. Шаг 3000 м в наибольшей степени соответствует читаемости и информативности получаемых карт. К зонам риска изменения водно-солевого режима и загрязнения в связи с фильтрацией из СКК (рис. 6а) отнесены зоны аккумуляции, расположенные ниже СКК, через которые проходят пересекающие канал пути миграции потоков. К зонам риска в связи с влиянием СКК как геохимического барьера отнесены зоны аккумуляции, локализованные выше канала и соприкасающиеся с ним.

Карта зон риска (рис. 6а) отображает лишь топографические предпосылки [37] локализации участков изменения водно-солевого режима и загрязнения. Уточнить прогноз можно с помощью анализа дополнительных нетопографических материалов. Для ранжирования выделенных зон риска по степени возможного вторичного засоления и подтопления применена информация о степени засоления пород и естественной дренированности территории (см. рис. 3) [28]. В результате анализа этих данных построены прогнозные карты участков вторичного засоления и подтопления.

Интерполяция ЦМВ, расчет K_a , H , k_h и визуализация карт (рис. 1, 4, 6а) проведены с помощью программ LANDLORD 2.0 [48] и LANDLORD 3.0 (разработан Г.А. Андриенко и Н.Л. Андриенко, ПушГУ). При анализе распределения природных объектов по элементам рельефа использована программа EXTRACT (разработана П.В. Козловым, АОЗТ ЦВ "Протек"), а при составлении карт (рис. 1–4, 6) – программа ECOCART и GEOPLANE (разработаны Г.А. Андриенко и Н.Л. Андриенко, ПушГУ).

Результаты и обсуждение. На картах зон аккумуляции, транзита и рассеяния (см. рис. 4) хорошо видна структура распределения этих элементов рельефа. Применение различного шага сетки ЦМВ позволяет регистрировать зоны аккумуляции (узловые структуры) различного ранга. На карте, построенной с шагом 3000 м (рис. 4б), фиксируется определенная упорядоченность зон аккумуляции, которая связана с региональными системами выраженных в рельефе разломов преобладающего субмеридионального, субширотного,

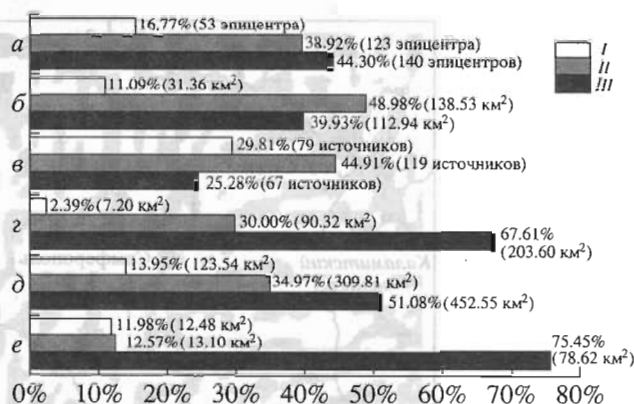


Рис. 5. Диаграммы распределения природных объектов, которые априори могут располагаться в узловых структурах, по зонам рассеяния (I), транзита (II) и аккумуляции (III). а – эпицентры землетрясений, б – зоны рудопроявления ртути, в – источники, г – сильно обводненные зоны, д – участки интенсивной, е – исключительно интенсивной трещиноватости горных пород.

северо-восточного и северо-западного простираения [45, 56].

Установлено, что природные объекты различного генезиса характеризуются различным уровнем приуроченности к зонам аккумуляции (узловым структурам). В наибольшей степени зоны аккумуляции контролируют распределение участков исключительно интенсивной трещиноватости горных пород: 75% их площади (см. рис. 5). Степень приуроченности участков интенсивной трещиноватости к зонам аккумуляции значительно ниже – 51%. 35% площади данных участков лежит в зонах транзита – вдоль разломов вне узлов пересечения. Участки трещиноватости горных пород выстраиваются в цепочки (см. рис. 2в), соответствующие ряду известных и выраженных в рельефе разломов [45, 56].

Высока степень приуроченности к зонам аккумуляции сильно обводненных зон – 68%. К зонам аккумуляции тяготеет 44% эпицентров землетрясений, 40% площади зон коренного ртутного рудопроявления и 25% источников (рис. 5). Зоны ртутного рудопроявления и источники располагаются в большей степени в зонах транзита: 49 и 45% соответственно. Здесь же локализовано 30% общей площади сильно обводненных зон и 39% эпицентров.

Часть природных объектов тяготеет к зонам рассеяния (консолированным участкам земной коры): от 2% для сильно обводненных зон до 30% для источников. Мы считаем этот результат артефактом, вызванным двумя обстоятельствами. Во-первых, очевидно, что некоторые объекты могут располагаться в зонах аккумуляции меньшего уровня иерархии, которые лежат в пределах зон рассеяния более высокого ранга и могут быть вы-

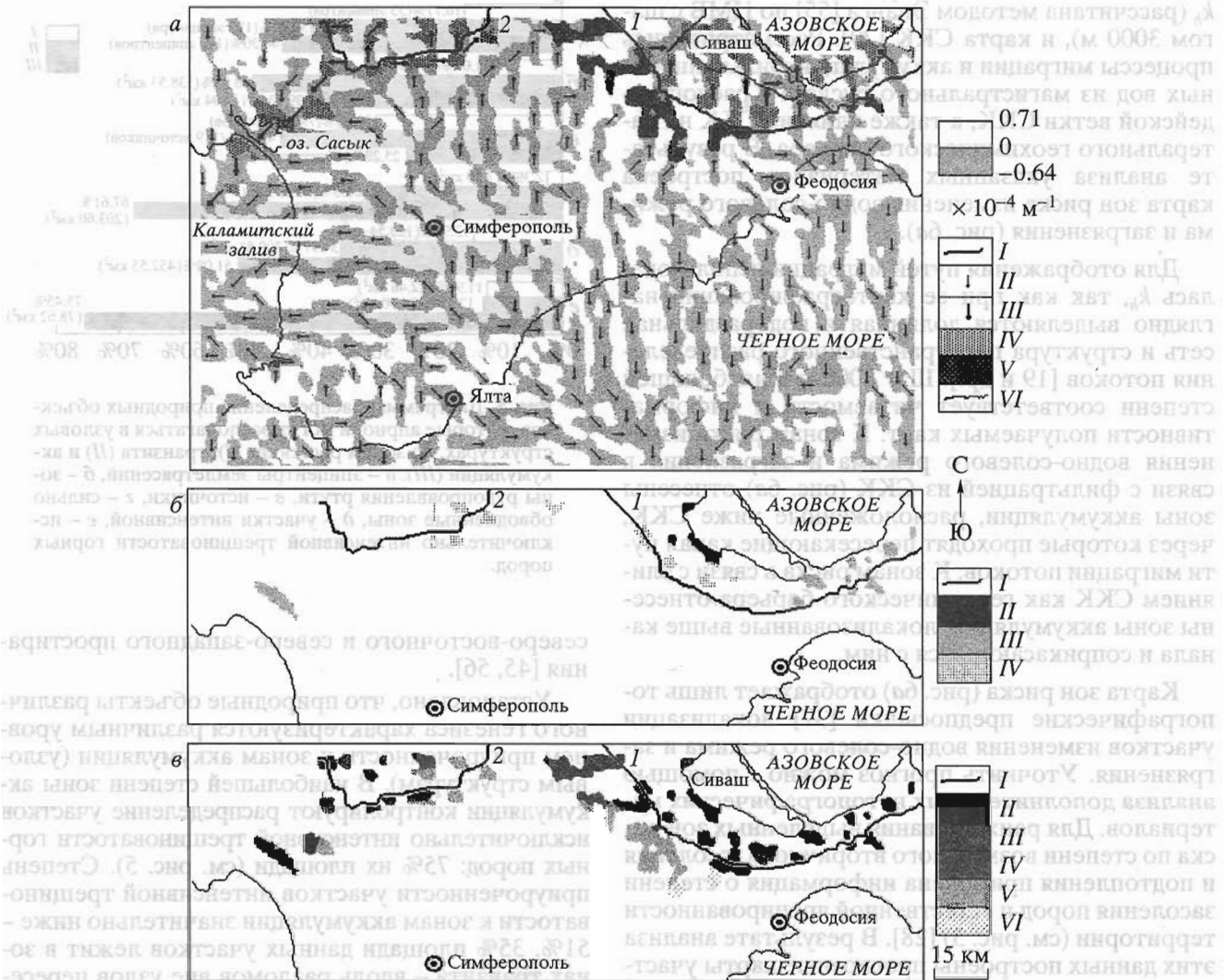


Рис. 6. Влияние СКК на водно-солевой режим и загрязнение прилегающих территорий: *а* – карта зон риска изменения водно-солевого режима и загрязнения: I – СКК (1 – магистральное русло, 2 – Красногвардейская ветка), II – пути миграции естественных потоков, III – пути миграции естественных потоков и фильтрационных вод, IV – зоны риска изменения водно-солевого режима и загрязнения в связи с фильтрацией, V – зоны риска изменения водно-солевого режима в связи с влиянием СКК как геохимического барьера, VI – береговая линия; *б* – прогнозная карта участков вторичного засоления: I – СКК, II – высокая, III – средняя, IV – низкая степень вторичного засоления; *в* – прогнозная карта участков подтопления: I – СКК, II – очень высокая, III – высокая, IV – средняя, V – низкая, VI – незначительная степень подтопления.

явлены лишь при использовании меньших шагов сетки ЦМР. Во-вторых, разнородность и ошибки исходных данных, несмотря на принятые меры (о них далее), могут оказывать определенное влияние на результаты оценки.

Тем не менее выявлена тенденция локализации значительной части рассмотренных природных объектов в зонах транзита (вдоль разломов вне узлов пересечения), причем во многих случаях объекты тяготеют к зонам аккумуляции (узловым структурам). На качественном уровне данная закономерность в части, касающейся геологических структур, известна [5, 22, 27, 44, 30].

Результаты количественного анализа позволяют существенно уточнить эти представления, а также определить закономерности распределения указанных природных объектов по элементам рельефа. При этом очевидно, что численные результаты проведенного анализа характеризуют именно тенденции. Степень приуроченности одного и того же типа природных объектов к зонам аккумуляции (узловым структурам), по-видимому, варьирует в зависимости от геологических и геоморфологических условий, а также от масштаба исследования. При использовании более точных исходных данных, а также при анализе

элементов рельефа меньшего характерного размера доля объектов, локализованных в зонах аккумуляции, вероятно, может возрастать, а в зонах транзита и рассеяния – уменьшаться. При ранжировании природных объектов по определенным признакам (например, эпицентров землетрясений – по глубине и магнитуде, источников – по водоносным горизонтам), возможно уточнение закономерностей распределения этих объектов в ландшафте.

Отметим высокую степень приуроченности к зонам аккумуляции участков исключительно интенсивной трещиноватости горных пород, где происходит разгрузка вод глубинных горизонтов, и сильно обводненных зон. Это свидетельствует о том, что аномальная увлажненность почв и грунтов в зонах аккумуляции потоков определяется как аккумуляцией поверхностной и приповерхностной влаги, так и восходящей миграцией вод глубинных горизонтов. В аридных и семиаридных регионах при повышенной минерализации подземных вод тяготение солончаков и солонцов к зонам аккумуляции, очевидно, также связано как с поверхностной, так и с восходящей миграцией солей. Таким образом, зоны аккумуляции – узловые структуры – являются своеобразными участками контакта и вещественного обмена потоков поверхностного и глубинного массопереноса. Локализация значительной части сильно обводненных зон и участков исключительно интенсивной трещиноватости в зонах аккумуляции определяет практическую значимость карт этих зон для прикладной гидрогеологии.

На карте зон риска изменения водно-солевого режима и загрязнения территории под влиянием СКК (см. рис. 6а) хорошо видна структура распределения поверхностных и приповерхностных естественных потоков, пути миграции фильтрационных вод и зоны риска, в которых могут накапливаться соли, поллютанты и повышаться уровень грунтовых вод в связи с фильтрацией из СКК. Интегрированный анализ карт зон риска (рис. 6а), засоления пород (рис. 3а) и естественной дренированности (рис. 3б) [28] показал, что в результате фильтрации в большинстве из выделенных зон вероятны сильное, среднее и слабое вторичное засоление почв (рис. 6б), а также подтопление очень высокой, высокой, средней и низкой степени (рис. 6в). В пределах этих участков целесообразно ограничить сельскохозяйственное использование земель.

Выделяется путь приповерхностной миграции фильтрационных вод из Красногвардейской ветки СКК в Каламитский залив (рис. 6а). Е.В. Львова [24] предположила, что этот процесс может улучшить гидрогеологическую ситуацию на побережье, оттеснив из водоносных горизонтов морскую воду, которая постепенно замещает

пресную в связи с интенсивной откачкой последней. Однако более вероятно сильное вторичное засоление и подтопление участка, примыкающего к оз. Сасык. В результате может понизиться качество добываемой здесь в бальнеологических целях рапы. Накопление солей и поллютантов в субаквальных зонах аккумуляции со временем может ухудшить экологическую ситуацию в этом курортном районе.

Анализируя влияние магистрального русла СКК как геохимического барьера для рек северного склона Крымских гор, можно выделить шесть зон риска изменения водно-солевого режима. Но при подключении к анализу информации о засолении пород (рис. 3а) [28] большинство этих зон оказывается незначимыми в плане вторичного засоления. Совместный анализ карт зон риска (рис. 6а) и естественной дренированности (рис. 3б) показывает, что во всех выделенных зонах возможно подтопление преимущественно высокой, очень высокой и низкой степени (рис. 6в). Таким образом, влияние СКК как геохимического барьера может проявляться в основном в подъеме уровня грунтовых вод на прилегающих выше территориях.

Для рек северного склона Крымских гор СКК является вторым крупным геохимическим барьером. Первым была лагуна Сиваша, образовавшаяся в послеледниковое время при опускании участков суши [6]. Об этом свидетельствует погребенный под илами Сиваша аллювий речных долин [12] и отсеченный Сивашом древний конус выноса крымских палеорек на дне Азовского моря, выявляемый при картографировании k_n [38]. Значительные размеры конуса выноса, видимо, подтверждают гипотезу о ледниковом питании крымских палеорек [13].

Так как мелкомасштабные карты изменения водно-солевого режима в связи с эксплуатацией СКК ранее не публиковались, мы не смогли оценить точность прогноза вторичного засоления и подтопления территории. Однако принимая во внимание строгость физико-математической теории поверхности в поле гравитации [52, 66] и интегрированный характер анализа данных о рельефе, засолении и дренированности почв и пород, проведенного с учетом известных механизмов формирования водно-солевого режима семиаридных регионов [21], можно утверждать, что прогнозные карты (рис. 6б, в) достаточно достоверны и соответствуют разрешающей способности цифровых моделей K_a , H , k_n и карт засоления и дренированности территории. К сожалению, использованный подход не позволяет оценить скорость вторичного засоления и подтопления и их интенсивность в абсолютных единицах. Эта задача, вероятно, может быть решена с помощью ме-

тодов гидрологии, использующих в качестве исходных данных ЦМВ [64 и др.].

Накапливаемые в зонах аккумуляции вещества могут закрепляться в почве и грунтах, вновь участвовать в поверхностном массопереносе в период весеннего снеготаяния и вовлекаться в процесс нисходящей миграции по трещинам горных пород. Поэтому негативное влияние СКК на ландшафт может не ограничиваться вторичным засолением почв, подъемом уровня и минерализацией грунтовых вод: при нисходящей миграции солей и поллютантов возможна минерализация и загрязнение водоносных горизонтов. В связи с этим в зонах аккумуляции вблизи каналов и других экологически опасных объектов целесообразно проводить гидрогеологический мониторинг и защитные мероприятия.

Вследствие интенсивной восходящей миграции растворов, флюидов, подземных вод и газовых эманаций в узловых структурах могут быть локализованы эндогенные геофизические, геохимические, газовые и гидрогеологические аномалии, которые влияют на биоту и человеческий организм. В зонах аккумуляции, заложенных на узловых структурах, в ходе поверхностного массопереноса накапливаются различные, в том числе экологически вредные вещества. Очевидно, что такие экзогенные и антропогенные геохимические аномалии оказывают влияние и на биологические системы. Вырисовывается особая, причем неоднозначная роль зон аккумуляции – узловых структур в эволюции органического мира. С одной стороны, крупные населенные пункты расположены именно в узловых структурах [34]. Аномальная увлажненность последних [62, 63, 27, 23] может способствовать повышенной продуктивности фито- и агроценозов, а мутагенность некоторых аномалий – приводить к росту разнообразия растительности [26]. С другой стороны, зоны аккумуляции – естественные накопители солей и поллютантов [11, 39], места активизации неблагоприятных эндогенных и экзогенных процессов [5, 17, 22, 60, 9], зоны повышенной заболеваемости и изменения поведенческих функций человека [26].

Очевидно, определяющее значение могут иметь геофизическая и геохимическая фоновая обстановка, характерный размер зоны аккумуляции (ранг узловой структуры), а также баланс негативных и позитивных воздействий указанных аномалий на индивидуумы, популяцию и вид. Вероятно, до начала интенсивной индустриализации в зонах аккумуляции за счет саморегуляции ландшафта сохранялось равновесие положительных и отрицательных факторов геофизических и геохимических аномалий, имевших естественное происхождение. Эти аномалии, очевидно, служили факторами естественного отбора и поэтому могли иметь отрицательное значение преимущест-

венно для уровня индивидуума. Резкая активизация загрязнения окружающей среды в XX в., видимо, привела к дестабилизации указанного равновесия из-за развития в зонах аккумуляции антропогенных геохимических аномалий. Таким образом, влияние аномалий узловых структур, вероятно, начинает приобретать преимущественно отрицательный характер, причем на популяционном и видовом уровнях.

В зонах повышенной трещиноватости отмечаются максимальные уровни сейсмического шума [15], модулируемого лунно-солнечными приливами [33]. Инфразвук негативно влияет на организм и поведенческие функции человека [57]. Не исключено, что, в частности, повышенная заболеваемость людей, живущих и работающих в домах над узловыми структурами, вызвана не только геохимическими и газовыми аномалиями [26], но и постоянным аномальным уровнем сейсмогенного инфразвука.

Отметим, что карты зон аккумуляции, получаемые в результате обработки ЦМВ, имеют значительный прикладной потенциал. В частности, они могут быть использованы для оптимизации мелиоративного районирования и прогноза; определения неблагоприятных в инженерно-геологическом плане участков при проектировании и мониторинге объектов повышенной ответственности (нефтегазотранспортных систем, АЭС и др.); выявления неблагоприятных в экологическом плане участков при градостроительном и сельскохозяйственном проектировании; прогнозу изменения водно-солевого режима на территориях, прилегающих к антропогенным геохимическим барьерам, а также путей миграции и зон аккумуляции поллютантов в ландшафте после аварийных и “штатных” выбросов; проведению профилактических и аварийных работ, например – размещения дамб и других ловушек загрязнителей; почвенного, ландшафтно-геохимического и сейсмического районирования и картографирования; составлению земельного кадастра и изъятию из сельскохозяйственного использования засоленных и загрязненных участков; планированию полевых маршрутов при геологической съемке и поисковых работах, в частности – шлиховой съемки при поисках россыпных месторождений.

Выводы. ЦМР представляются наиболее точными, подробными и объективными данными о ландшафте по сравнению с другими тематическими материалами; они могут обеспечить достаточно высокую степень объективности и воспроизводимости результатов указанных работ. Внедрение карт зон аккумуляции в практику позволит существенно расширить сферы использования ЦМР [53, 61, 47].

Проведенные исследования показывают взаимосвязь эндогенных и экзогенных процессов. Учет этих связей необходим при обосновании природопользования. Использование карт зон аккумуляции перспективно при решении ряда актуальных задач охраны окружающей среды, геологии и мелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архангельский А.Д., Страхов Н.М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 226 с.
- Борисенко Л.С. Геологический критерий сейсмической активности Крыма // Сейсмологические исследования. 1986. № 9. С. 38–48.
- Булкин Г.А. О некоторых генетических особенностях ртутных рудопоявлений Крыма // ДАН СССР. 1960. Т. 131. № 5. С. 1143–1146.
- Волчанская И.К. Морфоструктурные закономерности размещения эндогенной минерализации. М.: Наука, 1981. 239 с.
- Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.А. и др. О критериях высокой сейсмичности // ДАН СССР. 1972. Т. 202. № 6. С. 1317–1320.
- Геология СССР. Т. 8: Крым. Ч. 1: Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 575 с.
- Геология СССР. Т. 8: Крым. Ч. 2: Полезные ископаемые. М.: Недра, 1974. 207 с.
- Гидрогеология СССР. Т. 8: Крым. М.: Недра, 1970. 364 с.
- Гласко М.П., Раницман Е.Я. Влияние современной блоковой структуры земной коры равнинных территорий на сохранность технических объектов // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 3. С. 76–80.
- Горшков Г.П., Левицкая А.Я. Некоторые вопросы сейсмоструктоники Крыма // ДАН СССР. 1946. Т. 54. № 3. С. 255–258.
- Гуров В.Н., Керцман В.М. Рельеф как фактор возможного перемещения радионуклидов // Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере: Тез. докл. 5-й конф., Пушкино, дек. 1991. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1991. С. 17.
- Дзэнс-Литовская Н.Н. Почвы и растительность степного Крыма. Л.: Наука, 1970. 157 с.
- Дзэнс-Литовский А.И. Было ли оледенение Крымских гор // ДАН СССР. 1951. Т. 76. № 6. С. 875–878.
- Доленко Г.Н., Парыляк А.И., Копач И.П. Условия формирования и закономерности размещения зон нефтегазоаккумуляции на территории Крыма // Условия формирования и закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений на Украине. Киев: Наук. думка, 1967. С. 381–390.
- Дьяконов Б.П., Троянов А.К., Назаров А.Н. и др. Сейсмоакустические шумы на глубоких горизонтах // ДАН СССР. 1989. Т. 309. № 2. С. 314–318.
- Ефремов Ю.К. Опыт морфологической классификации элементов и простых форм рельефа // Вопросы географии. Картография. Вып. 11. М.: Географиз, 1949. С. 109–136.
- Караханян А.С. Выделение крупных оползней, сорванных и гравитационно сползших блоков пород при дешифрировании космических снимков // Изв. вузов. Геология и разведка. 1981. № 3. С. 130–131.
- Кармазин П.С. Субмеридиональные разломы и сейсмичность Крыма // Вопросы прикладной геохимии и петрофизики. Киев: Вища школа, 1981. С. 93–105.
- Карта систем земной поверхности и почвенного покрова части Средней Азии, масштаб 1 : 1500000 / Гл. ред. И.Н. Степанов. М.: ГУТК СМ СССР, 1989. 2 с.
- Касимов Н.С., Ковин М.И., Проскураков Ю.В. и др. Геохимия почв зон разломов (на примере Казахстана) // Почвоведение. 1978. № 8. С. 31–40.
- Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. 1. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 573 с.
- Коробейник В.М., Комарова М.В., Штенгелов Е.С. Зоны трещинной проницаемости земной коры в Крыму и северо-западном Причерноморье // ДАН УССР. 1982. Сер. Б. № 2. С. 13–16.
- Космическая информация в геологии / Под ред. В.Г. Трифонова и др. М.: Наука, 1983. 536 с.
- Львова Е.В. Равнины Крыма. Симферополь: Таврия, 1982. 80 с.
- Лясковский Б.Ю., Яковенко П.И. Источники искусственного восполнения запасов подземных вод в степном Крыму // Водные ресурсы. 1980. № 4. С. 98–107.
- Мельников Е.К., Рудник В.А., Мусийчук Ю.И. и др. Патогенное воздействие зон активных разломов земной коры Санкт-Петербургского региона // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 1994. № 4. С. 50–69.
- Морозов В.И., Коваленко А.П., Пасынков А.А. Обводненные зоны Горного Крыма // Геол. журн. 1988. № 2. С. 65–69.
- Новикова А.В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении (оценка пригодности территории под орошение на примере юга Украинской ССР). Киев: Урожай, 1975. 184 с.
- Оросительные и обводнительные системы Северо-Крымского канала // Оросительные и обводнительные системы СССР. Вып. 2: УССР. М.: Минводхоз СССР, Главвводпроект, Гидроводхоз, 1968. С. 7–18.
- Полетаев А.И. Узловые структуры земной коры // Общ. и рег. геол., геол. морей и океанов, геол. картирование: Обзор. инф. Вып. 2. М.: МГП "Геоинформмарк", 1992. 50 с.
- Пустовитенко Б.Г., Тростников В.Н. К вопросу о связи сейсмических процессов в Крыму с тектоникой // Геофиз. сб. 1977. Вып. 77. С. 13–23.
- Расцветаев Л.М. Горный Крым и Северное Причерноморье // Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977. С. 95–113.
- Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Лунно-солнечная приливная периодичность в линиях спектров временных вариаций высокочастотных микросейсм // ДАН СССР. 1980. Т. 252. № 3. С. 577–580.

34. *Скворцов А.И.* Краткий анализ связи географии городов с тектоникой на Русской платформе // Сб. тр. ВНИИ системных исследований. 1991. № 3. С. 30–35.
35. *Соллогуб В.Б.* Тектоника передовых прогибов альпийской геосинклинальной области и сопредельных районов Европейской части СССР (по данным геофизических исследований). Киев: Изд-во УССР, 1960. 93 с.
36. *Степанов И.Н.* Галогеохимическая концепция нормализации экологической обстановки Аральского региона // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: ПНЦ АН СССР, 1991. С. 98–124.
37. *Степанов И.Н., Флоринский И.В., Шарый П.А.* О концептуальной схеме исследований ландшафта // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: ПНЦ АН СССР, 1991. С. 9–15.
38. *Степанов И.Н., Лошакова Н.А., Поветухина З.Ф. и др.* Новая карта рельефа дна Черного моря // Докл. РАН. 1995. Т. 340. № 5. С. 688–690.
39. *Стурман В.И.* О влиянии рельефа на загрязнение городской территории (на примере г. Ижевска) // Геоморфология. 1994. № 4. С. 29–31.
40. Топографическая карта, лист VI-L-36 (Джанкой), масштаб 1 : 300000 / Гл. ред. Е.И. Ардабьева. М.: ГУГК МВД СССР, 1953.
41. Топографическая карта, лист VIII-L-36 (Севастополь), масштаб 1 : 300000 / Гл. ред. Е.И. Ардабьева. М.: ГУГК МВД СССР, 1953.
42. Топографическая карта, лист IX-L-36 (Симферополь), масштаб 1 : 300000 / Гл. ред. Е.И. Ардабьева. М.: ГУГК МВД СССР, 1953.
43. Топографическая карта, лист V-L-36 (Херсон), масштаб 1 : 300000 / Гл. ред. Е.И. Ардабьева. М.: ГУГК МВД СССР, 1953.
44. *Федоров А.Е., Азаркин В.Н., Локишин Б.Б., Ноговицын Ю.А.* Методы выделения и изучения потенциально рудных дизъюнктивных структур // Общ. и рег. геол., геол. картир. Обзор. инф. Вып. 6. М.: ВИЭМС, 1989. 33 с.
45. *Флоринский И.В.* Визуализация линеаментов и структур центрального типа: количественные топографические подходы. Пушино: ПНЦ РАН, 1992. 47 с.
46. *Флоринский И.В.* Анализ цифровых моделей высот для выделения линейных структур земной поверхности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУГиК, 1993. 18 с.
47. *Флоринский И.В.* Международный опыт использования цифровых моделей рельефа при автоматизированном анализе данных дистанционного зондирования // Геодезия и картография. 1995. № 12. С. 33–38.
48. *Флоринский И.В., Грохлина Т.И., Михайлова Н.Л.* LANDLORD 2.0: система анализа и картографирования геометрических характеристик рельефа // Геодезия и картография. 1995. № 5. С. 46–51.
49. *Хамрабиев И.Х., Сейдузова С.С., Матасова Л.М. и др.* Явление обратной связи (антогонизма) между размещением эндогенных рудных месторождений и эпицентрными зонами сильных и разрушительных землетрясений // Узбекский геол. журн. 1988. № 3. С. 15–22.
50. *Хильчевский В.К., Чеботько К.А.* Оценка эколого-гидрохимического состояния природных вод Украины // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. № 2. С. 182–188.
51. *Шалимов А.И.* Новая тектоническая схема Крыма и связь складчатых сооружений Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа // Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966. С. 49–58.
52. *Шарый П.А.* Топографический метод вторых производных // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: ПНЦ АН СССР, 1991. С. 30–60.
53. *Шарый П.А., Курякова Г.А., Флоринский И.В.* О международном опыте применения методов топографии в ландшафтных исследованиях (краткий обзор) // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: ПНЦ АН СССР, 1991. С. 15–29.
54. *Штенгелов Е.С.* О влиянии скважинной эксплуатации верхнеюрского водоносного горизонта на сейсмичность Крыма // Водные ресурсы. 1980. № 2. С. 57–65.
55. *Evans I.S.* An integrated system of terrain analysis and slope mapping // Zeit. Geomorph. 1980. Suppl. B. 36. S. 274–295.
56. *Florinsky I.V.* Quantitative topographic method of fault morphology recognition // Geomorphology. 1996. V. 16. № 2. P. 103–119.
57. *Infrasound and Low Frequency Vibration.* L.: Acad. Press, 1976. 364 p.
58. *Kirkby M.S., Chorley R.J.* Throughflow, overland flow and erosion // Bull. Int. As. Sci. Hydrol. 1967. V. 12. № 3. P. 5–21.
59. *Kutina J.* Hydrothermal ore deposits in the western United States: A new concept of structural control of distribution // Science. 1969. V. 165. № 3897. P. 1113–1119.
60. *Lanyon L.E., Hall G.F.* Land surface morphology: 2. Predicting potential landscape instability in eastern Ohio // Soil Sci. 1983. V. 136. № 6. P. 382–386.
61. *Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R.* Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications // Hydrol. Proc. 1991. V. 5. № 1. P. 3–30.
62. *O'Loughlin E.M.* Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties // J. Hydrol. 1981. V. 53. № 3/4. P. 229–246.
63. *Pennock D.J., Zebarth B.J., Jong E. de.* Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada // Geoderma. 1987. V. 40. № 3–4. P. 297–315.
64. *Quinn P.F., Beven K.J.* Spatial and temporal prediction of soil moisture dynamics, runoff, variable source areas and evapotranspiration for Plynlimon, Mid-Wales // Hydrol. Proc. 1993. V. 7. № 4. P. 425–448.
65. *Schut G.H.* Review of interpolation methods for digital terrain models // Canad. Surv. 1976. V. 30. № 5. P. 389–412.
66. *Shary P.A.* Land surface in gravity points classification by complete system of curvatures // Mathematical Geology. 1995. V. 27. № 3. P. 373–390.

Junctions of Fault Interspections and Zones of Flow Accumulations: Analysis of Relationships

I. V. Florinsky

Russian Ecological Federal Informational Agency

We study quantitatively some relationships between junctions of fault interaction (junction structure) and zones of flow accumulation (accumulation zones) using terrain models by the example of the part of the Crimean peninsula and adjacent sea bottom. As a rule, accumulation zones correlated with junction structures.

We carry out an analyses of the spatial distribution of some natural objects which can a priori be located in junction structure over accumulation, transit and denudation zones. The following set of natural objects was used: seismic foci, zones of primary mercuric deposit, springs, highly moistened zones, areas of intensive and exceptionally intensive rock fracturing. Areas of exceptionally intensive rock fracturing and highly moistened zones have the highest levels of association with accumulation zones. This fact testifies that within accumulation zones abnormal moisture content of soils and ground is controlled by both accumulation of surface and subsurface water flow, and rising migration of deep horizon water.

We study processes of migration and accumulation of water which filtered from the North-Crimea Canal, and a role of this canal as a geochemical barrier. We demonstrate the influence of accumulation zones on spatial distribution of areas with potential alteration of water and salt regimes of soil due to irrigation. Predictive maps of secondary salinization and inundation are obtained.

We argue usefulness of accumulation zone maps to solve a wide range of urgent problems of environmental protection, geology and reclamation.